



TAMPEREEN ILMANLAATUSELVITYS

Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen leviämismallilaskelmat



TAMPEREEN ILMANLAATUSELVITYS

**Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden
ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen leviämismallilaskelmat**

**Jenni Latikka
Timo Rasila
Terhi Laurila
Henrik Virta
Maija Peltola
Mika Vestenius
Antti Mannisenaho
Salla Pykäri
Katja Lovén**

**Ilmatieteen laitos
Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia
Helsinki 1.10.2025**

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	4
SUMMARY	6
OSA I.....	8
1 Johdanto.....	8
2 Leviämismallilaskelmien tulokset	8
2.1 Typpidioksidi- (NO ₂) ja typenoksidipitoisuudet (NO _x)	9
2.1.1 Nykytilanne	9
2.1.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin.....	12
2.1.3 Tulevaisuuden skenaario (2040)	16
2.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM _{2,5})	18
2.2.1 Nykytilanne	18
2.2.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin.....	19
2.2.3 Tulevaisuuden skenaario (2040)	22
2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM ₁₀).....	23
2.3.1 Nykytilanne	24
2.3.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin.....	26
2.3.3 Tulevaisuuden skenaarion (2040)	28
2.4 Mustan hiilen pitoisuudet (BC).....	29
2.4.1 Nykytilanne	29
2.4.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin.....	31
2.4.3 Tulevaisuuden skenaario (2040)	32
2.5 Bentso(a)pyreenipitoisuudet (BaP).....	33
2.5.1 Nykytilanne	33
3 Eri päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun.....	36
4 Mallilaskelmien tulosten arviointi.....	39
5 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	44
OSA II.....	47
6 Taustatietoa ilmanlaadusta	47
6.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	47
6.2 Typpidioksidi	47
6.3 Hiukkaset	48
6.4 Musta hiili	50
6.5 Bentso(a)pyreeni.....	50
6.6 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	51
6.7 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot.....	52
7 Leviämismallilaskelmien lähtötiedot.....	55
7.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt	55
7.1.1 Tampereen kokonaispäästöt	55
7.1.2 Autoliikenteen päästöt	58

7.1.3	Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt	61
7.1.4	Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt.....	64
7.2	Meteorologiset tiedot.....	66
7.3	Taustapitoisuudet.....	67
7.4	Laskentapisteikkö	68
8	Leviämismallilaskelmissa käytetyt menetelmät.....	69
8.1	Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla	69
8.2	Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)	70
8.3	Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI).....	71
8.4	Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen (FORE).....	71
8.5	Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli	72
8.6	Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)	72
OSA III		74
9	Mittausasemien edustavuuden arviointi	74
9.1	Mittausasemien edustavuuden arviointi.....	74
9.2	Tampereen ilmanlaadun mittausasemat ja edustavuus	75
9.2.1	Epilä.....	75
9.2.2	Pirkankatu.....	78
9.2.3	Linja-autoasema	81
9.2.4	Kaleva.....	83
10	Suosituksien Mittausverkon kehittämiseen	87
VIITELUETTELO		92
LIITTEET		94
	Liitekuvaluettelo.....	94
	Liitekuvat	97

TIIVISTELMÄ

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Tampereen autoliikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden, sekä kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, musta hiilen ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia sekä niiden alueellista jakautumista nykyisessä (2021) ja vuoden 2040 ennustetussa päästötilanteessa. Mallinnustulosten perusteella arvioitiin myös eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tuloksina saatuja ulkoilman pitoisuuksia verrattiin lainsäädännössä määriteltyihin ilmanlaadun vertailuarvoihin. Lisäksi tässä työssä arvioitiin Tampereen nykyisten ilmanlaadun mittausasemien edustavuutta ja annettiin suosituksia mittausverkon kehittämiseen.

Päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja katujen pölyämistä kuvaavaa suspensiopäästömallia (FORE). Pitoisuudet laskettiin koko Tampereen kaupungin alueelle. Tarkastelualueen koko oli 29×16 km. Mallilaskelmissa käytettiin alueen ilmastollisia olosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa ja päästötietoja vuosilta 2021–2023.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästötiedot sisältävät suurimman osan Tampereen alueella syntyvistä typen oksidien, hiukkasten, musta hiilen ja bentso(a)pyreenin kokonaispäästöistä. Mallilaskelmissa olivat taustapitoisuuksien lisäksi mukana autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöt, energiantuotannon ja teollisuuden päästöt sekä kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt. Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen EURO-päästöluokista riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia, VTT:n tuottamia tietoja eri ajoneuvotyyppien ja EURO-luokkien ajosuoriteosuuksista, sekä liikennemäärätietoja ja liikenteen aikavaihtelutietoja. Energiantuotannon ja teollisuuden lähtötiedot kerättiin suoraan toiminnanharjoittajilta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ ruudutaiset päästöt saatiin Suomen ympäristökeskuksen alueellisesta päästö-skenaariomallista (FRES-malli).

Mallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu on valtaosassa Tampereen kaupunkia pääsääntöisesti hyvää. Ilmanlaatu on erityisen hyvää Tampereen maaseutumaisilla alueilla, jotka ovat kauempana vilkkaimmista väylistä ja tiivistä pientaloalueista. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen typenoksidipäästöt, katupöly, asuinrakennusten puunpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä ja asuinalueista. Energiantuotantolaitosten ja teollisuuden päästöjen vaikutus Tampereen ilmanlaatuun on hyvin pieni. Laitosten päästöt vapautuvat pääsääntöisesti korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.

Leviämismallilaskelmien tulosten mukaan typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat nykytilanteessa ilmanlaadun raja-arvot ja ohjearvot koko Tampereen kaupungin alueella, pois lukien valtaväylien risteysalueet, joissa raja-arvot eivät ole voimassa. Vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot ylittyvät nykyliikenteen päästötasolla isojen väylien risteysalueella mutta autoliikenteen päästökehityksen myötä raja-arvot alittuisivat väylillä tulevaisuudessa (2040).

Pienhiukkasten pitoisuudet alittavat selvästi nykyisen vuosiraja-arvon ja vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot nykytilanteen ja vuoden 2040 ennustetun tilanteen päästötasolla. Maailman terveysjärjestö WHO:n suosituksenomainen vuorokausiohjearvo alittuu koko Tampereen alueella lukuun ottamatta yksittäisiä pisteitä vilkkaasti liikennöidyillä väylillä, mutta vuosiohjearvo ylittyy myös väylien lähiympäristössä. Suurin vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin on

taustapitoisuudella, mistä merkittävä osa koostuu kaukokulkeutuneista pienhiukkasista. Paikallisista päästölähteistä merkittävin vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on kotitalouksien pienpoltolla ja autoliikenteellä.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat ilmanlaadun nykyiset raja-arvot nykytilanteessa ja ennustetussa vuoden 2040 päästötilanteessa. Nykyinen vuorokausiraja-arvopitoisuus ylittyy ainoastaan Lakalaivan liittymässä risteysalueella sekä nykytilanteessa että ennustetussa vuoden 2040 päästötilanteessa. Raja-arvot eivät ole voimassa väylillä ja risteysalueilla. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ylittyy vilkkaasti liikennöityjen väylien välittömässä läheisyydessä molemmissa päästötilanteissa. Huomattavin vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin on liikenteen nostattamalla katupölyllä. Katupölypitoisuuksiin voidaan merkittävästi vaikuttaa paikallisella katujen kunnossapidolla sekä oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla ja pölynsidonnalla.

Mustan hiilen pitoisuuksiin vaikuttavat liikenne ja kiinteistökohtainen lämmitys. Pitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä, josta pitoisuudet laimenevat etäisyyden kasvaessa. Liikenteen päästökehityksen myötä mustan hiilen pitoisuuksien odotetaan laskevan vuonna 2040. Mustalle hiilelle ei ole raja- tai ohjearvoja.

Mallilaskelmien mukaan bentso(a)pyreenipitoisuuden vuosikeskiarvo ylittää sille asetetun tavoitearvon muutamilla asuinalueilla. Vuonna 2030 bentso(a)pyreenille astuu voimaan raja-arvo, joka ylittyy mallinnuksen mukaan laajoilla alueilla. Aikaisempien tutkimusten perusteella leviämismallinnustulokset yliarvioivat pitoisuuksia, joten todennäköisesti todelliset pitoisuudet ovat tuloksia hieman matalampia.

Leviämismallinnuksen tulosten ja mittausten perusteella ilmanlaatuselvityksen toteuttamista suositellaan säännöllisin väliajoin, joiden perusteella voidaan arvioida edelleen ilmanlaadun seurantarvetta. Nykyistä mittausohjelmaa suositellaan laajennettavan pientaloaluetta edustavalla mittausasemalla ja esimerkiksi yhden vuoden bentso(a)pyreenin kampanjamittauksilla.

SUMMARY

This air quality assessment for the Tampere region evaluated the effects of emissions from traffic, energy production, industrial activities, and small-scale wood burning on air quality. Dispersion modelling was used to study the ambient concentrations and spatial distribution of nitrogen dioxide, nitrogen oxides, particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), black carbon, and benzo(a)pyrene in the present-day and future (2040) emission scenarios. Modelling results were also used to estimate the impact of different emission sources on air quality. The resulting ambient concentrations were compared to air quality norms defined in legislation. This work also evaluated the spatial representativeness of the air quality measurement stations in Tampere, and gave recommendations on developing the measurement network.

Several dispersion models developed at the Finnish Meteorological Institute were used to model emissions: the dispersion model for stationary point and area emission sources (UDM-FMI), the line source model for road traffic emissions (CAR-FMI), and the road dust suspension emission model (FORE). Concentrations were modelled for the city of Tampere, covering an area of 29 × 16 km. Meteorological data between the years 2021–2023, representing the climate of the region, and emission data for the same time period, were used in the modelling.

Emission information used as input data for the modelling includes most of the total emissions of nitrogen oxides, particulates, black carbon, and benzo(a)pyrene within the Tampere region. In addition to background concentrations the modelling also included exhaust and road dust emissions from emissions from road traffic, and emissions from energy production, industrial activities, and small-scale wood burning. Road traffic exhaust emissions were calculated using vehicle type-dependant emission factors defined by the European Environment Agency (based on the speed and European emission standards tier of the vehicle), mileage data of different vehicle classes and Euro emission tiers produced by the VTT Technical Research Centre of Finland, along with data on traffic volume and its temporal variation. Emission data on energy production and industrial activities was requested directly from the operators. Emissions from small-scale wood burning on a 250 m × 250 m sized grid were obtained from the regional emission scenario model (FRES) maintained by the Finnish Environment Institute (SYKE).

The modelling results indicate that air quality is good within most of Tampere. Air quality is particularly good in the rural regions of Tampere, which are further away from the busiest roads and densely-built detached housing areas. Air quality within the area is primarily affected by nitrogen oxide emissions from road traffic, road dust, small-scale wood burning, and long-range transport of fine particulate matter. Concentrations decrease quickly with increasing distance from the busiest roads and residential areas. The effect of emissions from energy production and industrial activities on the air quality in Tampere is extremely small. The emissions from these facilities are primarily released from tall stacks, and are thus dispersed and diluted efficiently without affecting air quality at nose level.

The results of the dispersion modelling indicate that the total concentrations of nitrogen dioxide in the present-day emissions scenario are below air quality limit and guideline values in the entire Tampere region, excluding intersections of main roads where the limit values are not in effect. The limit values coming into force in 2030 are exceeded in the present-day road traffic emissions scenario at intersections of main roads, but are not exceeded in the future (2040) emissions scenario due to reduced emissions from road traffic.

Concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5}) are well below the current annual limit value as well as the new limit values coming into force in 2030, both in the present-day and future (2040) emissions scenarios. The 24-hour guideline value recommended by the World Health Organization

(WHO) is not exceeded anywhere except at individual points along heavily trafficked roads, but the annual guideline value is exceeded also in the vicinity of busy roads. Concentrations of fine particulates are most affected by background concentrations, which are heavily influenced by long-range transport. Small-scale wood burning and road traffic have the greatest influence on fine particulate concentrations out of all local emission sources.

Annual mean concentrations of particulate matter (PM_{10}) were below the current limit value in both the present-day and future (2040) emissions scenarios. The current 24-hour limit value is only exceeded at the Lakalaiva interchange in both the present-day and future (2040) emissions scenarios. Limit values are not in effect over roads and junctions. The 24-hour guideline value of PM_{10} is exceeded in the immediate vicinity of heavily trafficked roads in both emissions scenarios. Road dust has the greatest influence on PM_{10} concentrations. Road dust concentrations can be efficiently controlled by local road cleaning, timely grit removal, and dust suppression.

Concentrations of black carbon are affected by road traffic and small-scale wood burning. Concentrations are highest near heavily trafficked roads, and decrease with increasing distance from them. Concentrations of black carbon are expected to decrease by the year 2040 due to reduced emissions from road traffic. No limit or guideline values have been defined for black carbon.

According to the modelling results the annual target value of benzo(a)pyrene is exceeded in some residential areas. A limit value for benzo(a)pyrene coming into force in 2030 is widely exceeded in the Tampere region. However, previous studies indicate that dispersion modelling overestimates benzo(a)pyrene concentrations. The actual concentrations are thus likely somewhat lower than those indicated by the modelling.

It is recommended that air quality assessments based on dispersion modelling and measurements be performed at regular intervals, so that the needs of air quality monitoring in the region can be periodically updated. It is further recommended that the current measurement network be expanded by one station representing an area of detached housing, where a measurement campaign of benzo(a)pyrene concentrations could be organized, for example for the duration of one calendar year.

OSA I

1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämismallilaskelmien avulla tietoa Tampereen ilmanlaadusta, sen alueellisesta vaihtelusta ja eri päästölähteiden vaikutuksesta ilmanlaatuun. Selvityksessä arvioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen ilmanlaatuvaikutuksia Tampereen kaupungin alueella nykytilantessa ja vuonna 2040. Lisäksi ilmanlaadun leviämismallinnuksen tuloksia hyödynnettiin Tampereen nykyisen ilmanlaadun mittausasemien edustavuuden arvioinnissa.

Ilmanlaatuvaikutuksia arvioitiin laskennallisesti leviämismallien avulla vuoden 2021 ja 2040 päästöjä ja vuosien 2021–2023 alueen ilmastollisia olosuhteita kuvaavassa tilanteessa. Mallinnuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä leviämis- ja laskentamalleja: piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallia (UDM-FMI), liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja katupölypäästöjen suspensiopäästömallia (FORE). Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin Tampereen typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, mustan hiilen ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia ja niiden alueellista jakautumista. Tutkimuksen tuloksena saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin.

Raportin rakenne on kolmiosainen. Ensimmäisessä osassa esitetään leviämismallinnuksen keskeisimmät tulokset, niiden arviointi ja johtopäätökset. Raportin toisessa osassa on kuvattu mallinnuksen lähtötiedot ja käytetyt menetelmät sekä kerrottu taustatietoa ilmanlaadusta. Kolmannessa osassa on esitetty Tampereen ilmanlaadun mittausasemien edustavuuden arvio. Raportin kaikki tuloskuvat on esitetty liitteenä raportin lopussa.

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Tampereen kaupungin Kaupunkiympäristön palvelualue yhdessä alueen energiantuotannon ja teollisuuden laitosten kanssa. Päästöjen leviämismallilaskelmat, tulosten tarkastelu ja raportointi tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Leviämismallilaskelmien avulla on mahdollista tarkastella laajojen, kokonaisten kaupunkialueiden ilmanlaatua sekä eri tekijöiden vaikutusta ilmanlaatuun. Mallilaskelmilla tehdyn ilmanlaatuarvion tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman todenmukaista tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta. Siksi mallilaskelmissa on mukana kaikkien merkittävimpien päästölähteiden tunnetut päästöt ja muualta kulkeutuneiden ilman epäpuhtauksien taustapitoisuus. Tässä työssä pitoisuuksien muodostumista on arvioitu koko Tampereen kaupungin kattavalle alueelle (29 × 16 km). Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa.

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, mustan hiilen ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet on esitetty raportissa havainnollisina karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin voimassa oleviin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, kriittisiin tasoihin ja WHO:n suositustenomaisiin ohjearvoihin (vertailu WHO:n ohjearvoihin on tehty vain pienhiukkasten osalta, koska pienhiukkasille ei nykyisessä lainsäädännössä ole määritetty vuorokausiraja- tai ohjearvoa) sekä vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Raportin tekstin sisällä on esitetty tärkeimmät pitoisuuksien tuloskartat ja raportin liitekuviin on esitetty lisää

tuloskuvia eri tarkastelualueilta: koko Tampereen kaupungin alueen lisäksi lähikuvat Tampereen keskustan alueelta.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Vihreän eri sävyillä kuvataan kartoissa hyvää ilmanlaatua ja asteikko jatkuu pitoisuuksien kasvaessa keltaisen ja oranssin sävyjen kautta punaiseen. Kirkkaalla punaisella kuvataan raja-, ohje- tai tavoitearvon ylittymistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtä aikaa vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2021–2023, 2040 ennuste) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja niihin vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet ja mallinnuksessa käytettyjen päästövaihteluiden edustavuus. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2021–2023, 2040 ennuste) korkeinta vuorokausiraja- tai ohjearvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä. Typpidioksidin tuntiraja- ja tuntiohjearvoon verrannollisia pitoisuuksia ei ole raportissa esitetty niiden suuremman epävarmuuden vuoksi. Tuntipitoisuudet eivät myöskään tyypillisesti kaupunkiympäristössä ylitä ohje- ja raja-arvoja.

Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Espoon Luukissa ja Juupajoen Hyytiälässä sijaitsevien taustailmanlaadun mittausasemien tuloksia. Tarkastelujaksolla 2021–2023 Luukissa typen oksidien taustapitoisuuden vuosikeskiarvo oli $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pienhiukkasten $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Otsonin vuosikeskiarvo Hyytiälässä oli tänä ajanjaksona $50,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja mustan hiilen $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (Ilmatieteen laitos, 2024). Kaupunkialueilla tai taajamissa paikalliset päästölähteet nostavat pitoisuudet taustapitoisuustasoa korkeammiksi.

2.1 Typpidioksidi- (NO_2) ja typenoksidipitoisuudet (NO_x)

Tampereen korkeimmat typpidioksidipitoisuudet esiintyvät vilkasliikenteisten väylien ja risteysalueiden läheisyydessä ja kaikkein korkein pitoisuus saavutetaan Valtateiden 3 ja 9 risteysalueella. Autoliikenteen päästöillä on merkittävin vaikutus typpidioksidin pitoisuustasoihin. Pitoisuudet pienenevät selvästi, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan ruuhka-aikaan, liikennemäärien ollessa suurimmillaan, ja erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa. Vilkaasti liikennöityjen alueiden ulkopuolella typpidioksidipitoisuudet ovat vain hiukan taustapitoisuutta korkeampia.

2.1.1 Nykytilanne

Taulukossa 1 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Tampereella. Mallinnuksella saatuja arvoja verrataan sekä nykyisiin raja- ja ohjearvoihin että vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Tampereen autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuden jakauma on esitetty kuvassa 1. Typpidioksidin kokonaispitoisuudet on

esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvin 1–2 koko Tampereen kaupungin alueelle ja Tampereen keskustassa.

Typpidioksidipitoisuuden voimassa olevat raja-arvot alittuvat kaikkialla Tampereella. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet (raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ovat korkeimmillaan valtateiden 3 ja 9 risteyksessä ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuodesta 2030 alkaen vuosikeskiarvon raja-arvo tulee olemaan $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä tarkoittaa, että nykyisillä päästöillä tuleva raja-arvo ylittyisi. Ylityksiä tulisi mallinnuksen mukaan kuitenkin ainoastaan yksittäisissä pisteissä suurilla väylillä sekä niiden välittömässä läheisyydessä, jossa raja-arvot eivät ole voimassa.

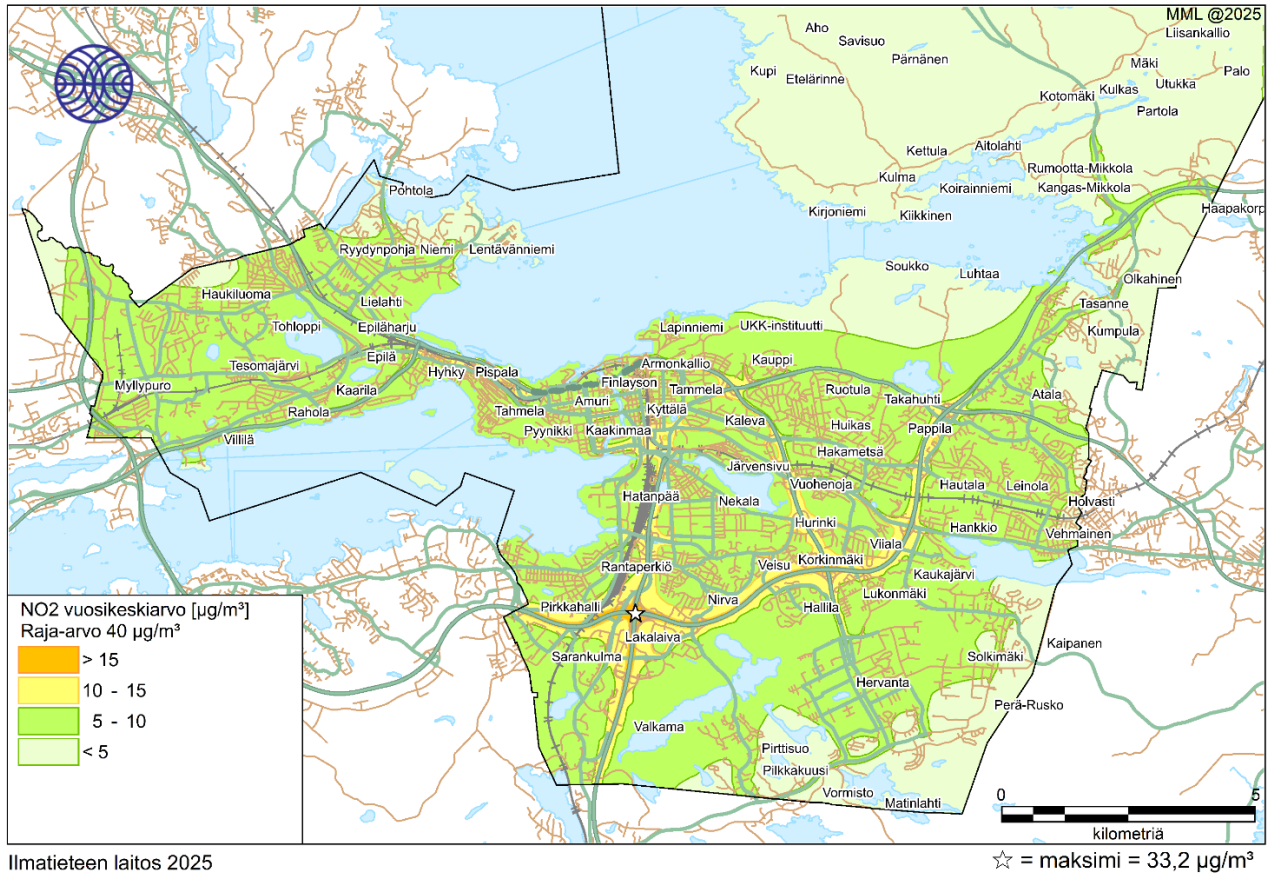
Typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on $10\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vilkkaasti liikennöityjen teiden, kuten Valtatien 3, Valtatien 9 ja Hervannan valtavyöhykkeen läheisyydessä. Kauempana vilkkaista liikenneväylästä vuosipitoisuustaso on alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Väljemmin asutetuilla alueilla, kuten Aitoniemen alueella, typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on taustapitoisuuden tasoa, ollen alle $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Taulukko 1 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typpidioksidipitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella vuosina 2021–2023 voimassa oleviin raja- ja ohjearvoihin ja vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin verrattuna **nykytilanteen päästötasolla**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta.

NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja- tai ohjearvo (nykyinen)	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Auto-liikenne	Energiantuotanto ja teollisuus	Kiinteistökohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	20	30	0,09	0,2	33
Vuorokausiraja-arvo		50*	57	0,3	0,9	62
Vuorokausiohjearvo	70		77	1	2	85

*sallitaan 18 ylitystä

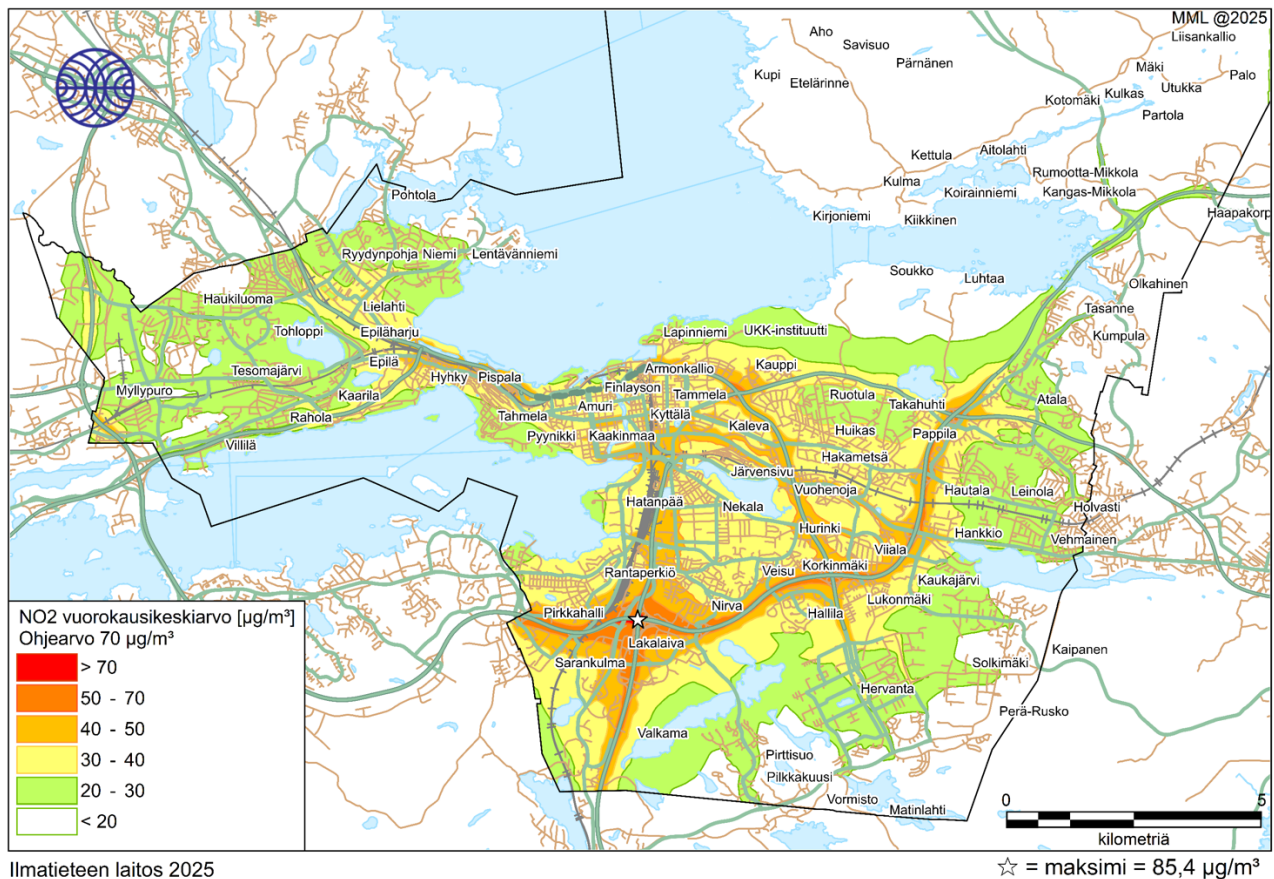
**sallitaan 3 ylitystä



Kuva 1 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO₂) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa. Kuvan väriytyksen skaala on verrannollinen nykyiseen raja-arvoon. Vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo on 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tampereen kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on esitetty kuvassa 2 ja liitekuvin 9–10. Hetkelliset typpidioksidipitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Leviämismallilaskelmien mukaan kaikkein korkeimmat Tampereella havaitut typpidioksidipitoisuudet Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä (85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittävät vuorokausiohjearvon (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Muilla alueilla pysytään kuitenkin nykyisen vuorokausiohjearvon alapuolella. Mallilaskelmien mukaan vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan Valtateiden 3 ja 9 varsilla ylittäen 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Muiden vilkkaasti liikennöityjen teiden, kuten Hervannan valtavyölyän ja Teiskon tien läheisyydessä sekä keskusta-alueella, pitoisuudet voivat ylittää 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet pienentyvät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä, ollen vähemmän asutuilla alueilla alle 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja maaseutualueilla alle 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vuonna 2030 voimaan tuleva vuorokausiraja-arvo (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittyisi vuorokausiohjearvoa vastaavalla alueella. On kuitenkin huomioitavaa, että tulevan vuorokausiraja-arvon ja nykyisen ohjearvon määrittysperiaate on eri, joten tuloksia ei voi suoraan verrata keskenään.



Kuva 2 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin nykyiseen vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa.

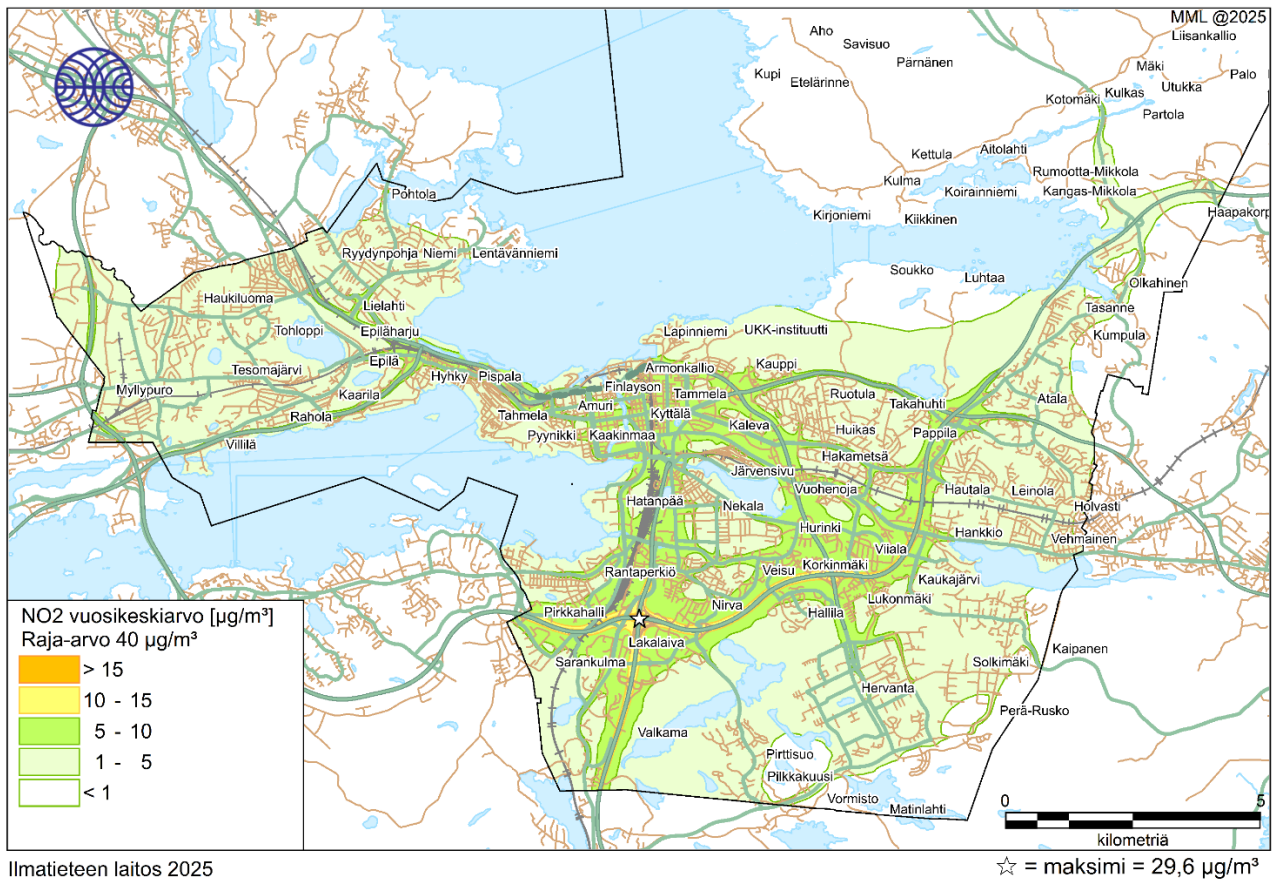
2.1.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin

Leviämismallilaskelmien tulokset esitetään seuraavaksi erikseen autoliikenteelle, teollisuudelle ja energiantuotannolle sekä kiinteistökohtaiselle lämmitykselle, jotta päästäisiin paremmin kiinni eri päästölähteiden vaikutuksesta typpidioksidipitoisuuksiin.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2021 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 33 sekä liitekuvin 3–4 ja 11–12. Autoliikenteen pitoisuusvyöhykkeet ovat vain hieman pienempiä kuin kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamien typpidioksidipitoisuuksien vyöhykkeet, sillä autoliikenne aiheuttaa valtaosan mallinnetuista typpidioksidipitoisuuksista. Autoliikenteen aiheuttamat typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuu koko tarkastelualueella. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä (29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Valtateiden välittömässä läheisyydessä havaitaan yli 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia, mutta kauempana tiestä autoliikenteen aiheuttamat pitoisuudet pysyttelevät alle 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kauempana vilkkaasti liikennöidyiltä teiltä ja valtaosalla asuinalueista pitoisuudet ovat alle 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Autoliikenteen vuoden 2021 päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet alittavat vuorokausiohjearvon (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikkialla paitsi Valtateiden 3 ja 9 risteysalueella, jossa pitoisuus nousee 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuva 11). Valtateiden läheisyydessä liikenteen aiheuttamat pitoisuudet voivat nousta yli 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tampereen keskustan alueella ja vilkkaasti liikennöityjen väylien

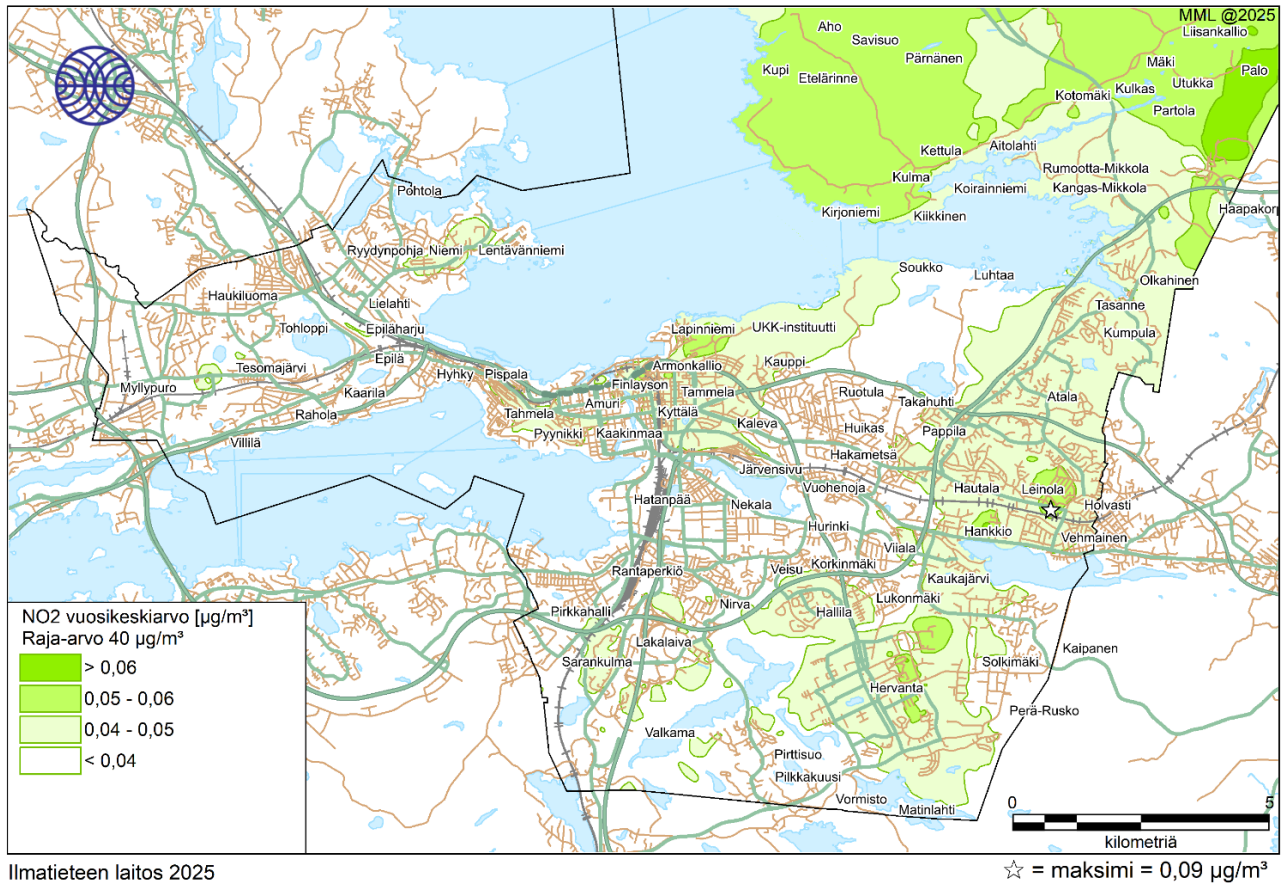
läheisyydessä vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet ovat pääosin tasoa $30\text{--}40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vähemmän liikennöidyillä alueilla pitoisuudet ovat tasoa $20\text{--}30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja syrjäisimmillä alueilla alle $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 3 Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa ilman alueellista taustapitoisuutta.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden pääosin vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 4 sekä liitekuviissa 5–6 ja 13–14. Tulosten mukaan laitosten yhdessä aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (raja-arvo $40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) on hyvin pieni, korkeimmillaankin vain $0,09\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan teollisuusalueiden läheisyydessä, kuten Leinolassa, Tarastenjärvellä, Lapinniemiellä ja Hervannassa.

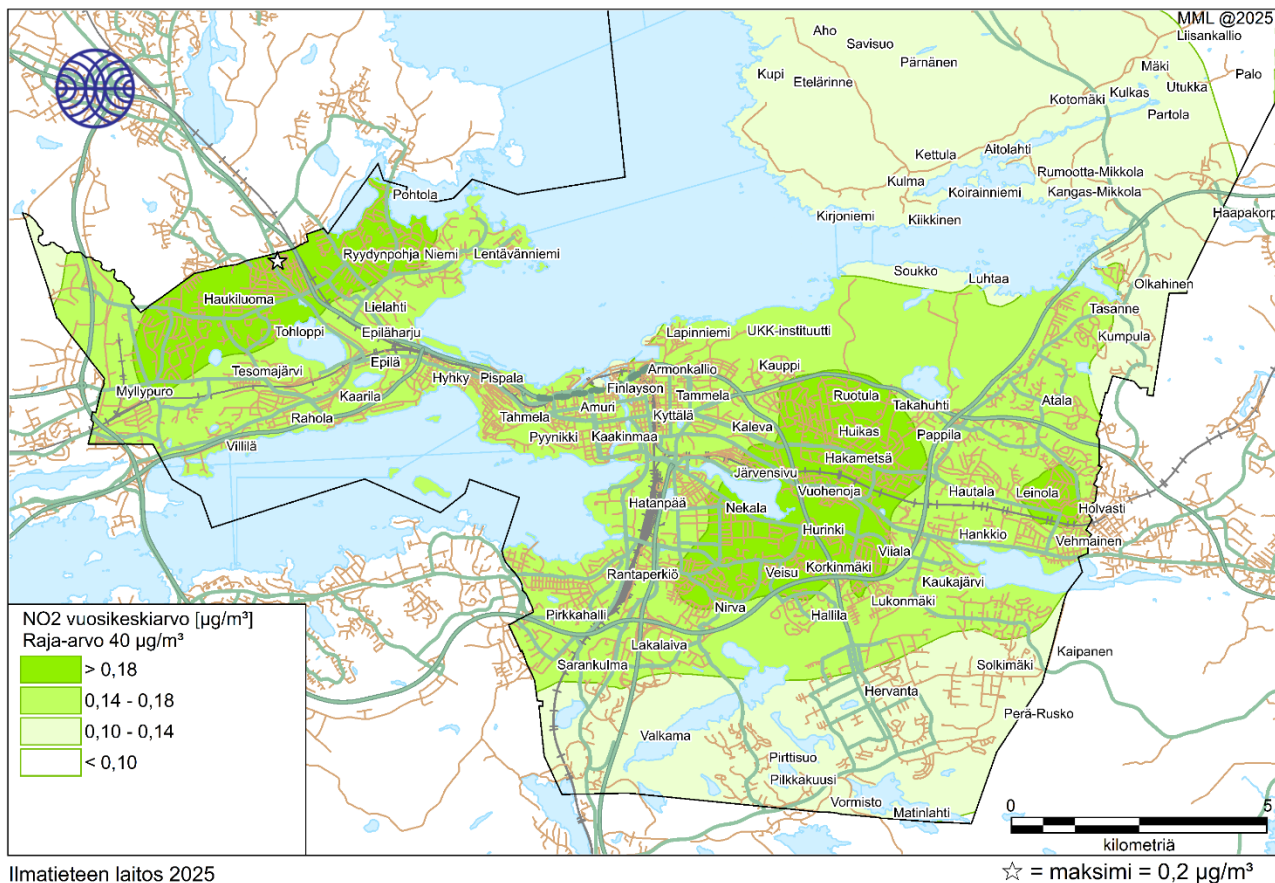
Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttamat korkeimmat typpidioksidin vuorokausiohjearvoon ($70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan $0,8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 13–14). Korkeimmat pitoisuudet havaitaan Tampereen länsiosissa. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus ilmanlaatuun on pieni, vaikka laitokset tuottavat noin puolet (49 %) Tampereen typenoksidipäästöistä. Tämä johtuu siitä, että teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat pääasiassa korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella.



Kuva 4 Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2021 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat typpidioksidipitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 5 sekä liitekuvin 7–8 ja 15–16. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat typpidioksidipitoisuudet ovat varsin pieniä, mikä on odotettavissa, sillä niiden päästöt muodostavat vain 11 % kokonaispäästöistä. Korkeimmillaan typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus on 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) Haukiliuoman alueella. Pienpolton vaikutukset ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Kotitalouksien pienpolton vaikutus typpidioksidipitoisuuksiin on vähäinen ja pitoisuuksia kohottavat lähinnä omakotitalojen öljylämmitys ja lisälämmitys, kuten takat.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat typpidioksidin vuorokausiohjearvoon (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet ovat korkeimmillaan 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 15–16). Korkeimpien pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttaa päästölähteiden sijainti, päästöjen määrä sekä sääolosuhteet.

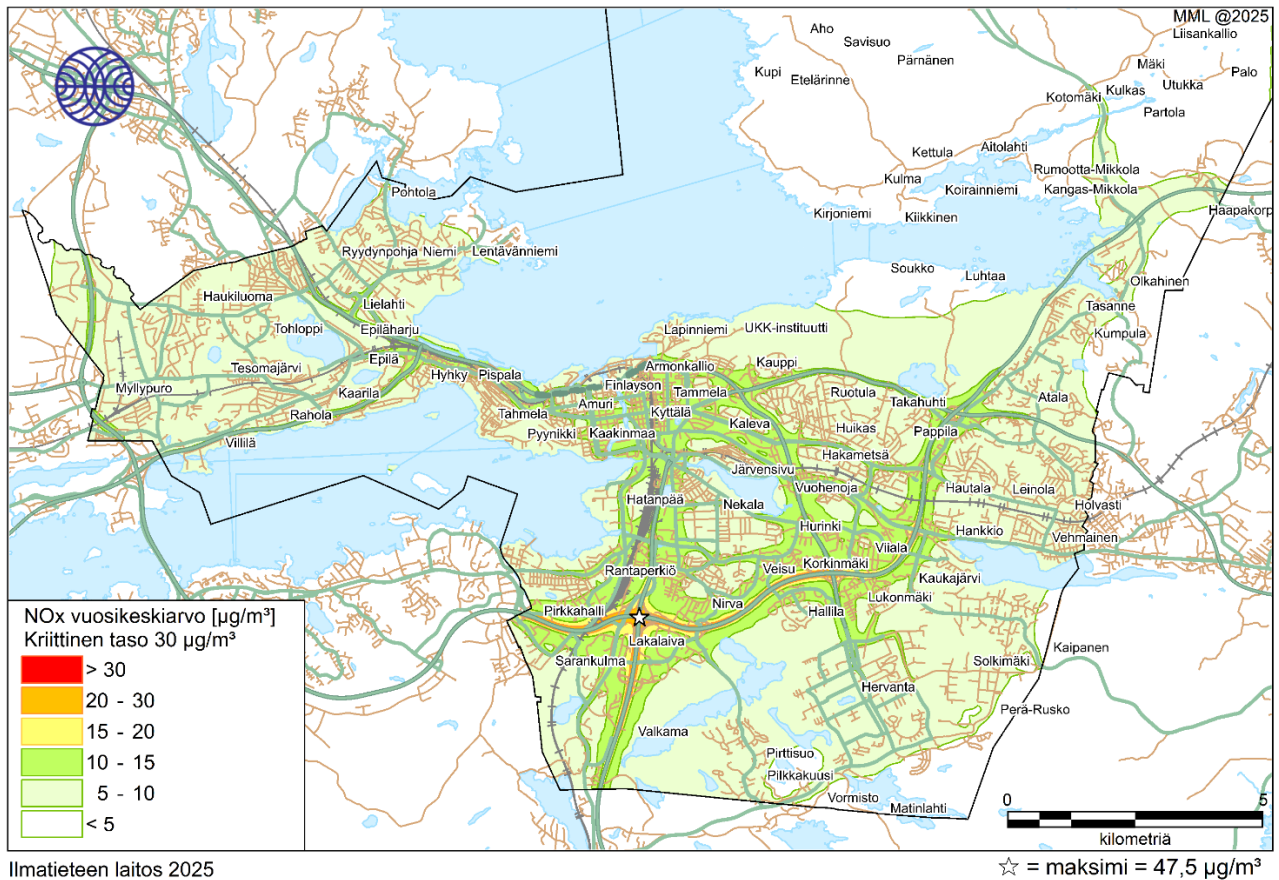


Kuva 5 Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

Typen oksideille on määritelty ekosysteemien ja kasvillisuuden suojelemiseksi kriittinen taso (30 µg/m³). Taulukossa 2, kuvassa 6 ja liitekuvin 17–18 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat typen oksidien kriittiseen tasoon verrannolliset pitoisuudet Tampereella. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin sekä kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksena. Typenoksidipitoisuuksille annettua kriittistä arvoa sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla. Typen oksidien pitoisuudet ylittävät kriittisen tason Tampereella vilkkaasti liikennöityjen valtateiden ulkopuolella. Rakennetun ympäristön ulkopuolella typen oksidien vuosikeskiarvopitoisuudet ovat alle 10 µg/m³.

Taulukko 2 Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typen oksidien pitoisuudet (µg/m³) Tampereella **nykytilanteessa**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Kriittisen tason ylitys lihavoitu.

NO _x (µg/m ³)	Kriittinen taso	Auto-liikenne	Energiantuotanto ja teollisuus	Kiinteistökohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	30	43	1,2	1,7	48

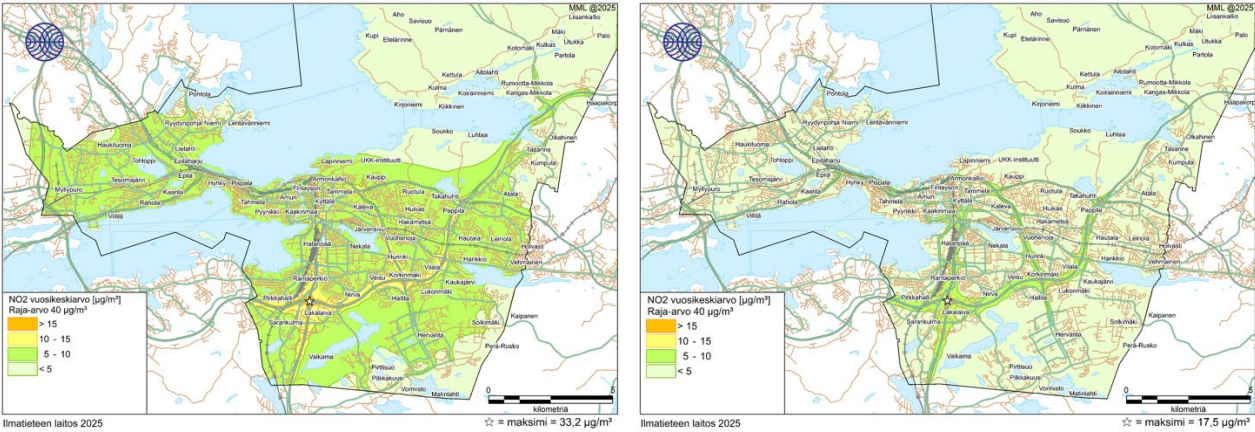


Kuva 6 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typen oksidien (NO_x) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella **nykytilanteessa**.

2.1.3 Tulevaisuuden skenaario (2040)

Tampereen autoliikenteen kehityksen, teollisuus- ja energiantuotantolaitosten suunniteltujen investointien, sekä alueellisen taustapitoisuuden kehityksen perusteella mallinnettiin myös ennustettu tilanne vuodelle 2040. Kuva 7 näyttää leviämismallinnustulokset vuodelle 2021 ja 2040 vierekkäin. Autoliikenteen ja teollisuuden typenoksidipäästöjen ennustetaan laskevan koko Tampereen alueella, jonka myötä vuonna 2040 tyyppidioksidipitoisuudet tulevat olemaan koko Tampereella alle vuonna 2030 voimaan tulevien raja-arvojen (taulukko 3). Pudotusta oletetaan nähtävän etenkin autoliikenteen päästöissä autokannan uusiutuessa ja sähköistyessä, vaikka liikennemäärien ennustetaan hieman kasvavan. Autoliikenteen päästöjen laskun myötä myös alueellisen taustapitoisuuden oletetaan hieman laskevan. Teollisuuden päästöjen oletetaan laskevan tulevien investointien ja tuotannon alasajojen vuoksi. Ennusteen mukaan korkeimmat tyyppidioksidipitoisuudet tullaan vuonna 2040 edelleen havaitsemaan suurten liikenneväylien läheisyydessä, kuten nykytilanteessa. Pitoisuudet suurten väylien ympäristössä ovat noin 5–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, keskusta-alueella ja muualla Tampereella alle 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Typen oksidien kriittiseen tasoon verrattava vuosikeskiarvo alittuu ennusteen mukaan koko Tampereen alueella (taulukko 4, liitekuva 29–30).



Kuva 7 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama typpidioksidin (NO₂) vuosikeskiarvopitoisuus (µg/m³) Tampereella nykytilanteessa (vasemmalla) ja vuonna 2040 (oikealla). Kuvan värityksen skaala on verrannollinen nykyiseen raja-arvoon. Vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo on 20 µg/m³.

Taulukko 3 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typpidioksidipitoisuudet (µg/m³) **ennustetussa tilanteessa, vuonna 2040**, vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin verrattuna. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta.

NO ₂ (µg/m ³)	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	20	16	0,07	0,2	18
Vuorokausiraja-arvo	50	34	0,3	0,9	37
Tuntiraja-arvo	200	141	2	13	145

Taulukko 4 Eri päästölähteiden aiheuttamat korkeimmat mallinnetut typen oksidien pitoisuudet (µg/m³) Tampereella **ennustetussa, vuoden 2040 tilanteessa**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta.

NO _x (µg/m ³)	Kriittinen taso	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	30	19	1,1	1,7	21

2.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5})

Kaukokulkeumalla eli alueelle muualta kulkeutuneilla hiukkasilla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Suurin vaikutus Tampereenkin pienhiukkaspitoisuustasoihin on taustapitoisuudella, joka on vuositasolla noin 4,0 µg/m³. Paikalliset päästölähteet aiheuttavat muutamien mikrogrammojen suuruisen lisän taustapitoisuuksiin. Vilkkaimpien teiden varsilla liikenteen päästöillä on huomattava vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin. Asuinalueilla pientalojen puunpoltolla on paikallisesti liikennepäästöjäkin merkittävämpi vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin. Vilkaasti liikennöityjen alueiden ulkopuolella pienhiukkaspitoisuudet ovat taustapitoisuuden tasolla tai vain hiukan taustapitoisuutta suurempia.

2.2.1 Nykytilanne

Taulukossa 5 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat pienhiukkasten raja-arvoon ja WHO:n vuorokausiarvoon verrannolliset pitoisuudet Tampereella. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Päästöjen ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 8. Pienhiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvin 19–20.

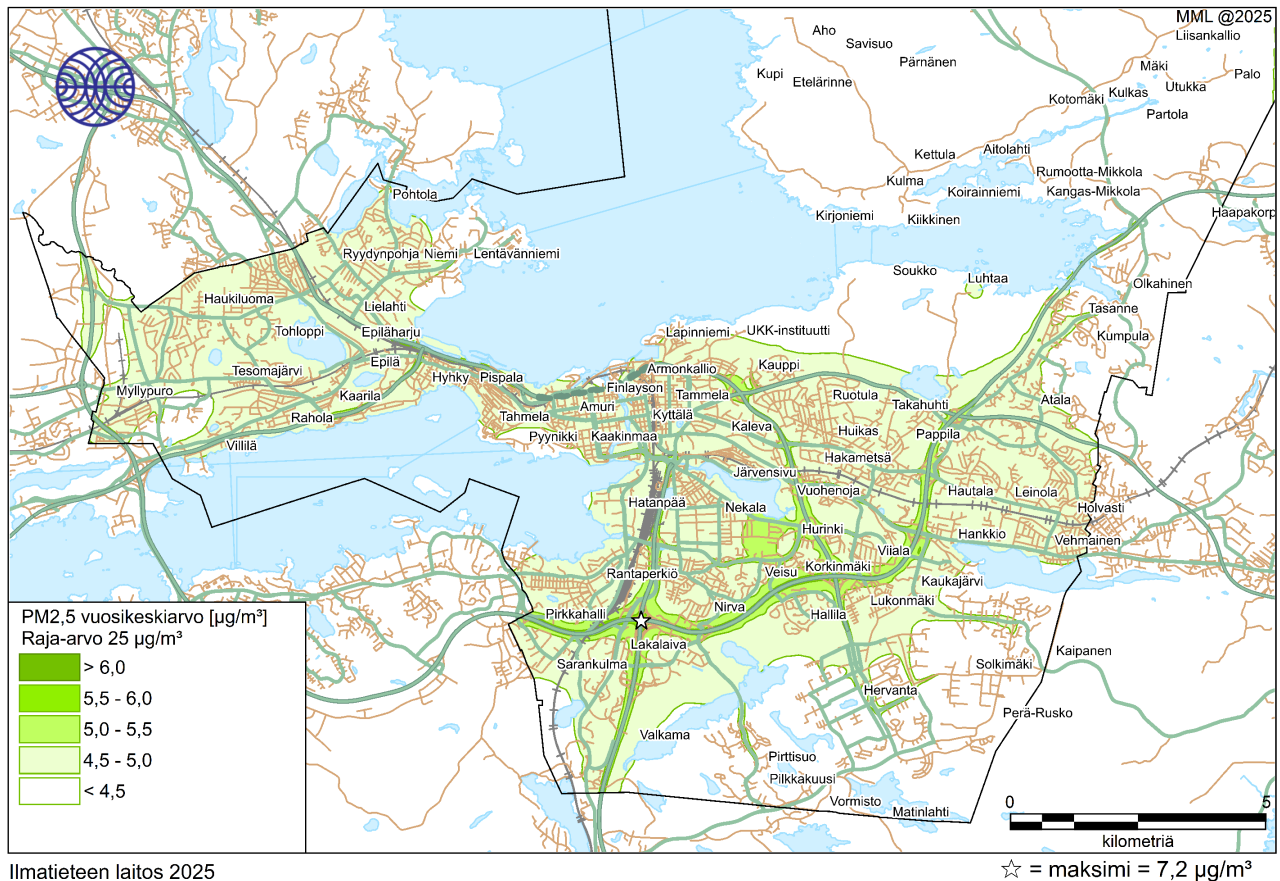
Mallinnetut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selvästi nykyisen vuosisiraja-arvon 25 µg/m³ nykytilanteessa. Taustapitoisuus vaikuttaa eniten mallinnettuihin pienhiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Autoliikenne, energiantuotanto, teollisuus ja kotitalouksien puunpoltto vaikuttavat pitoisuuksiin paikallisesti ja eri päästölähteiden vaikutus on suurimmillaan päästölähteiden läheisyydessä. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on suurimmillaan vilkaasti liikennöityjen valtavyöhykkeiden varrella ja pientalovaltaisilla asuinalueilla, joissa pitoisuuksiin vaikuttavat autoliikenne ja kiinteistökohtainen lämmitys. Näillä alueilla vuosikeskiarvopitoisuus ylittää WHO:n vuosiohjearvon (5 µg/m³). Korkeimmillaan pienhiukkaspitoisuus on 7,2 µg/m³ Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä. Etäämpänä suurimmista päästölähteistä pitoisuudet laskevat alle 5 µg/m³ ja maaseutumaisilla alueilla pitoisuudet ovat lähellä taustatasoa.

Taulukko 5 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat voimassa olevaan ja vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin, sekä WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannolliset mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet (µg/m³) Tampereella vuosina 2021–2023 **nykytilannetta edustavassa päästötilanteessa**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteeissä eri puolilla tutkimusaluetta.

PM _{2,5}	Ohje- tai raja-arvo (nykyinen)	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Auto-liikenne	Energiantuotanto ja teollisuus	Kiinteistökohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosisiraja-arvo	25	10	3	0,03	1	7
Vuorokausiraja-arvo	-	25**	7	0,2	3	12
WHO vuorokausiohjearvo	15*	-	12	0,4	5	16

*sallitaan 3 ylitystä

**sallitaan 18 ylitystä



Kuva 8 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella **nykytilanteessa**.

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat mitatut pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuudet havaitaankin yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy helposti koko Suomessa, jopa puhtailla tausta-alueilla. Suurimmat pitoisuudet havaitaan yleensä, kun ilmvirtaukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet).

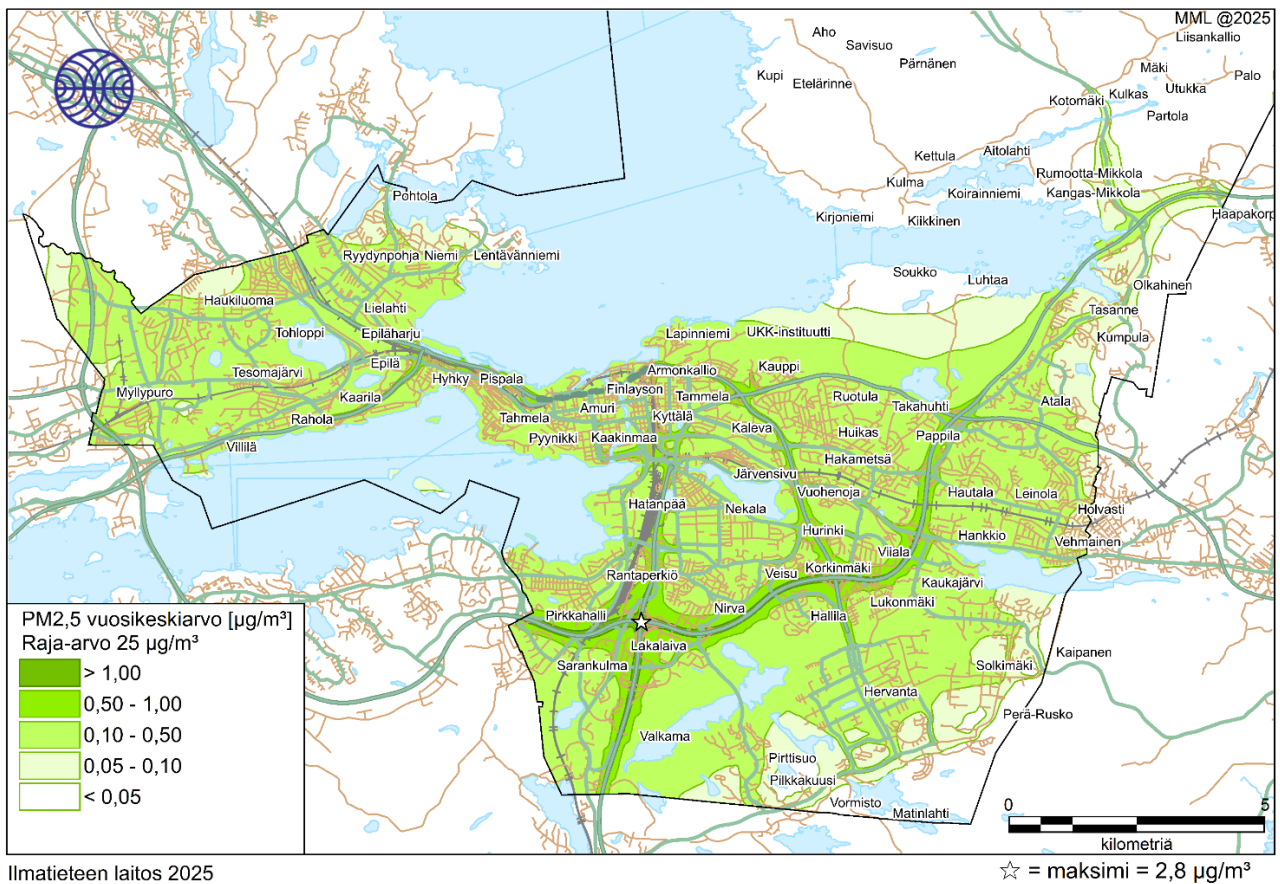
Tampereen kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama korkein pienhiukkasten WHO:n suositustenomaiseen vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus on esitetty liitekuviissa 27–28. Leviämismallilaskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuudet ylittävät WHO:n ohjearvon 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yksittäisissä pisteissä vilkasliikenteisten väylien varsilla korkeimman mallinnetun pitoisuuden ollessa Valtatiellä 3 15,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuudet pienentyvät, kun etäisyys vilkkaaimmin liikennöityihin väyliin ja tiiviisiin pientaloalueisiin kasvaa. Suurimmassa osassa Tampereen aluetta vuorokausipitoisuudet ovat alle 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin

Seuraavaksi pienhiukkasten pitoisuuksia tarkastellaan jaoiteltuna eri päästölähteiden aiheuttamien pitoisuuksien mukaan. Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2021 päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 9 sekä liitekuviissa 21–22 ja 29–30.

Autoliikenteen päästöjen yksinään aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan vilkkaasti liikennöityjen väylien, kuten Valtateiden 3 ja 9 läheisyydessä. Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on korkeimmillaan Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä $2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Asuinalueilla autoliikenteen aiheuttama pienhiukkaspitoisuus on tyypillisesti $0,1\text{--}0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja syrjäisimmillä alueilla tämän alle.

Autoliikenteen vuoden 2021 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjeeseen ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan $11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Valtatiellä 3, eli alle ohjearvon. Vilkkaasti liikennöidyillä ja tiheästi asutetuilla alueilla pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus on $2\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuva 30).



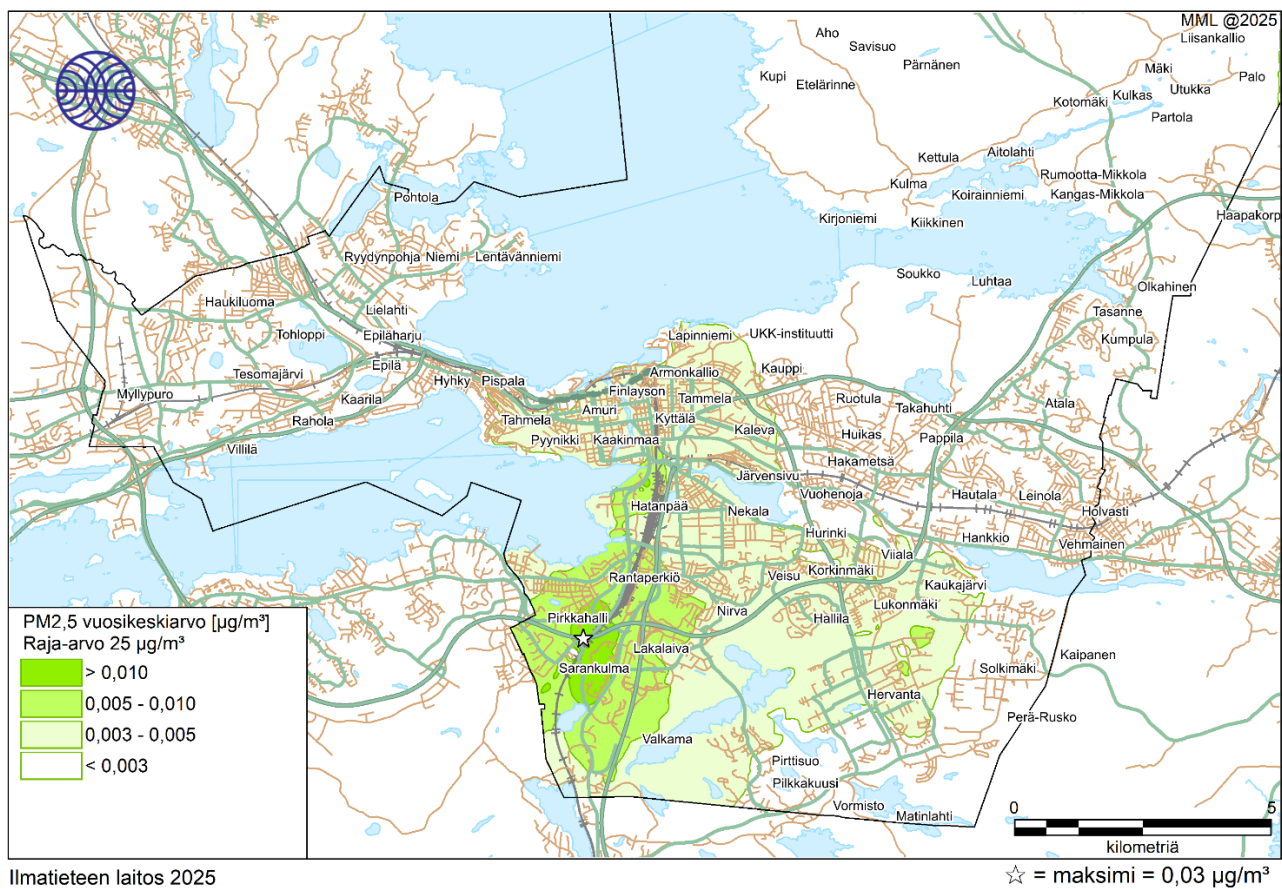
Kuva 9 Autoliikenteen vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut energiantuotannon ja teollisuuden laitosten pääosin vuotta 2021 edustavien päästöjen aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 10 sekä liitekuvin 23–24 ja 31–32. Tulosten mukaan laitosten aiheuttamat korkeimmat pienhiukkasten vuosipitoisuudet ovat suurimmillaankin hyvin pieniä. Korkeimpia pitoisuuksia havaitaan leviämismallinnuksen mukaan Sarankulman läheisyydessä mutta ollen vain $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Energiantuotannon ja teollisuuden vuoden 2021 päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjeeseen ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat enimmillään $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liitekuvat 31–32). Korkein vuorokausikeskiarvopitoisuus havaitaan vuosikeskiarvon tapaan

Sarankulman alueella. Pääsääntöisesti teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on hyvin pieni. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vapautuvat useimmiten korkeista piipuista, jolloin ne leviävät ja laimenevat tehokkaasti eivätkä heikennä ilmanlaatua hengityskorkeudella. Matalista piipuista vapautuvilla päästöillä voi olla selvää vaikutusta ilmanlaatuun paikallisesti päästölähteen lähellä, etenkin epäedullisissa säätilanteissa, mutta vaikutus ulkoilmapitoisuuksiin laajemmalla alueella jää yleensä varsin vähäiseksi.

Teollisuuden ja energiantuotannon pienhiukkasten pitoisuustuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt. Mallissa ei ole otettu huomioon erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja, kuten lastien purkamisia tai kasojen pölyämistä.

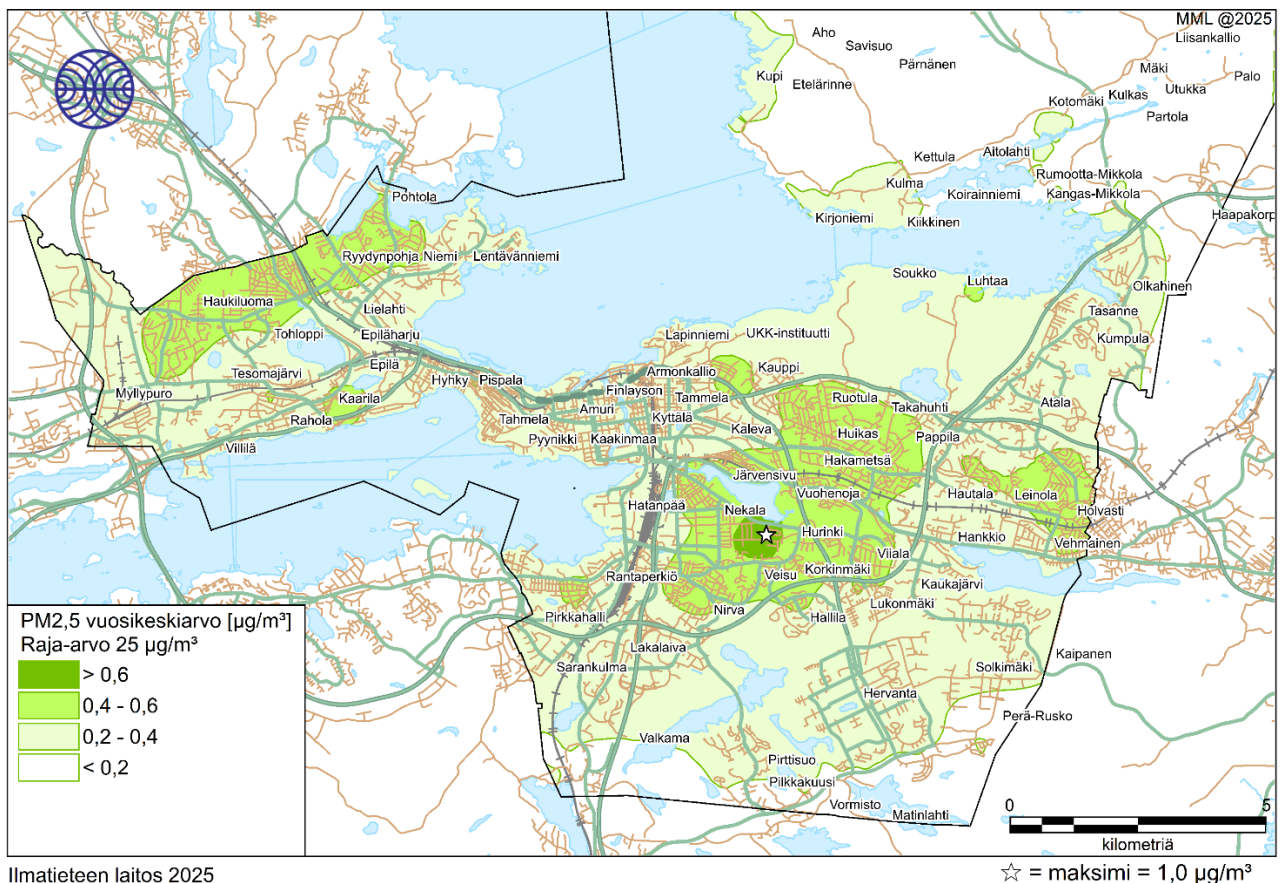


Kuva 10 Energiantuotannon ja teollisuuden vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2021 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 11 sekä liitekuvin 25–26 ja 33–34.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Vuosikeskiarvopitoisuus on suurimmillaan $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Nekalan alueella (raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nekalan alueen ulkopuolella pienpoltto nostaa pienhiukkaspitoisuutta $0,2\text{--}0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja kaikkein syrjäisimmillä alueilla alle $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat korkeimmat WHO:n vuorokausiohjearvoon ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pienhiukkaspitoisuudet ovat $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmillaan pitoisuudet ovat jälleen Nekalan alueella, mutta yli $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia on myös muilla pientaloalueilla, kuten Haukiluoman, Huikkaan ja Holvastin alueilla (liitekuvat 33–34). Tiiviillä asuinalueilla, joissa on vähemmän pientaloja, kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet ovat $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja esimerkiksi Tampereen keskusta-alueella $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Syrjäisimmillä alueilla jäädyään alle $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 11 Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.2.3 Tulevaisuuden skenaario (2040)

Pienhiukkaspitoisuudet mallinnettiin myös ennustetussa tilanteessa, vuonna 2040. Pienhiukkaspäästöjen odotetaan laskevan Tampereen alueella ja ennusteen mukaan vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot alittuisivat vuoden 2040 päästötilanteessa koko kaupungin alueella (taulukko 6). Kuva 12 näyttää mallitulokset vuodelle 2021 ja 2040 rinnakkain. Autoliikenteen päästöjen odotetaan laskevan autokannan uusiutuessa ja sähköistyessä liikennemäärien lisääntymisestä huolimatta. Tämä näkyy leviämismallinnuksen tuloksissa, sillä valtatiet eivät vuoden 2040 ennusteessa enää erotu niin selvästi korkeimpien pitoisuuksien alueena.

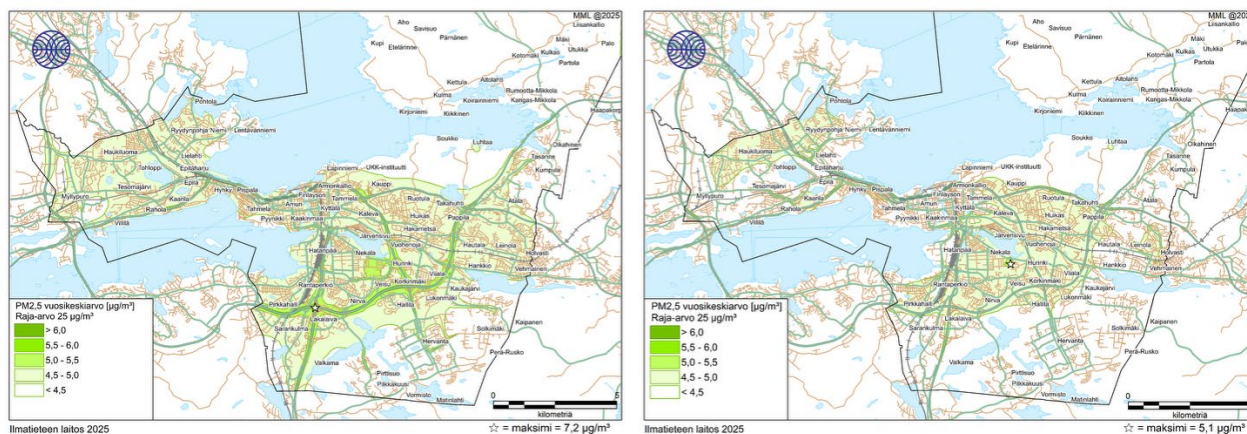
Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöille ei ole ennustetta vuodelle 2040. Ennusteen mukaan nämä päästöt olisivatkin vuonna 2040 päävastuussa pienhiukkaspitoisuuksista Tampereella ja kaupungin suurimmat pienhiukkaspitoisuudet havaittaisiin Nekalan alueella. Teollisuuden

päästöjen odotetaan laskevan entisestään, joten energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin säilyy matalana.

Taulukko 6 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin verrannolliset mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella **ennustetussa tilanteessa vuonna 2040**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusalueetta.

PM _{2,5}	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Auto-liikenne	Energian-tuotanto ja teollisuus	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	10	0,7	0,01	1	5
Vuorokausiraja-arvo	25**	1,7	0,07	3	8

**sallitaan 18 ylitystä



Kuva 12 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa (vasemmalla) ja vuonna 2040 (oikealla). Kuvan värityksen skaala on verrannollinen nykyiseen raja-arvoon (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo on 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM₁₀)

Yksi merkittävimmistä ilmanlaatua Tampereella ajoittain heikentävistä tekijöistä on katupöly. Katupölykaudella hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy usein keväällä maaliskokuussa lumien suluttua ja katujen kuivuttua, sekä loppusyksystä talvirengaskauden alkaessa ennen lumipeitteen tuloa. Katupölyn ja korkeiden hiukkaspitoisuuksien muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa katujen talvikunnossapidolla, oikea-aikaisella hiekoitushiekan poistolla ja pölynsidonnalla katupölykaudella. Myös rakennustyömaiden pölyntorjuntaan ja mahdolliseen pölynsidontaan tulee kiinnittää huomiota kaikkina vuodenaikoina.

2.3.1 Nykytilanne

Taulukossa 7 on esitetty leviämismallilaskelmien tuloksena saadut korkeimmat hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Tampereella. Korkeimmat pitoisuudet on esitetty päästölähteittäin ja kaikkien päästölähteiden yhteisvaikutuksena. Hengitettävät hiukkaset (hiukkaskokoluokka alle 10 µm) sisältää myös pienhiukkaset (kokoluokka alle 2,5 µm). Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksista energiantuotannon ja teollisuuden osuudet on mallinnettu pienhiukkasina ja autoliikenteen sekä kiinteistökohtaisen lämmityksen hiukkaset on mallinnettu huomioiden sekä PM_{2,5} ja PM₁₀-hiukkaspäästöt.

Taulukko 7 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat nykyisiin raja- ja ohjearvoon, sekä vuonna 2030 voimaan tulevaan raja-arvoon verrannolliset mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (µg/m³) Tampereella vuosina 2021–2023 nykytilannetta edustavilla päästöillä. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusalueita.

PM ₁₀ (µg/m ³)	Ohje- tai raja-arvo (nykyinen)	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Auto-liikenne	Energiantuotanto ja teollisuus***	Kiinteistökohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	40	20	25	0,03	1	29
Vuorokausiohjearvo	70	-	190	0,5	5	194
Vuorokausiraja-arvo	50*	45**	63*/102**	0,1*/0,2**	2*/3**	69*/106**

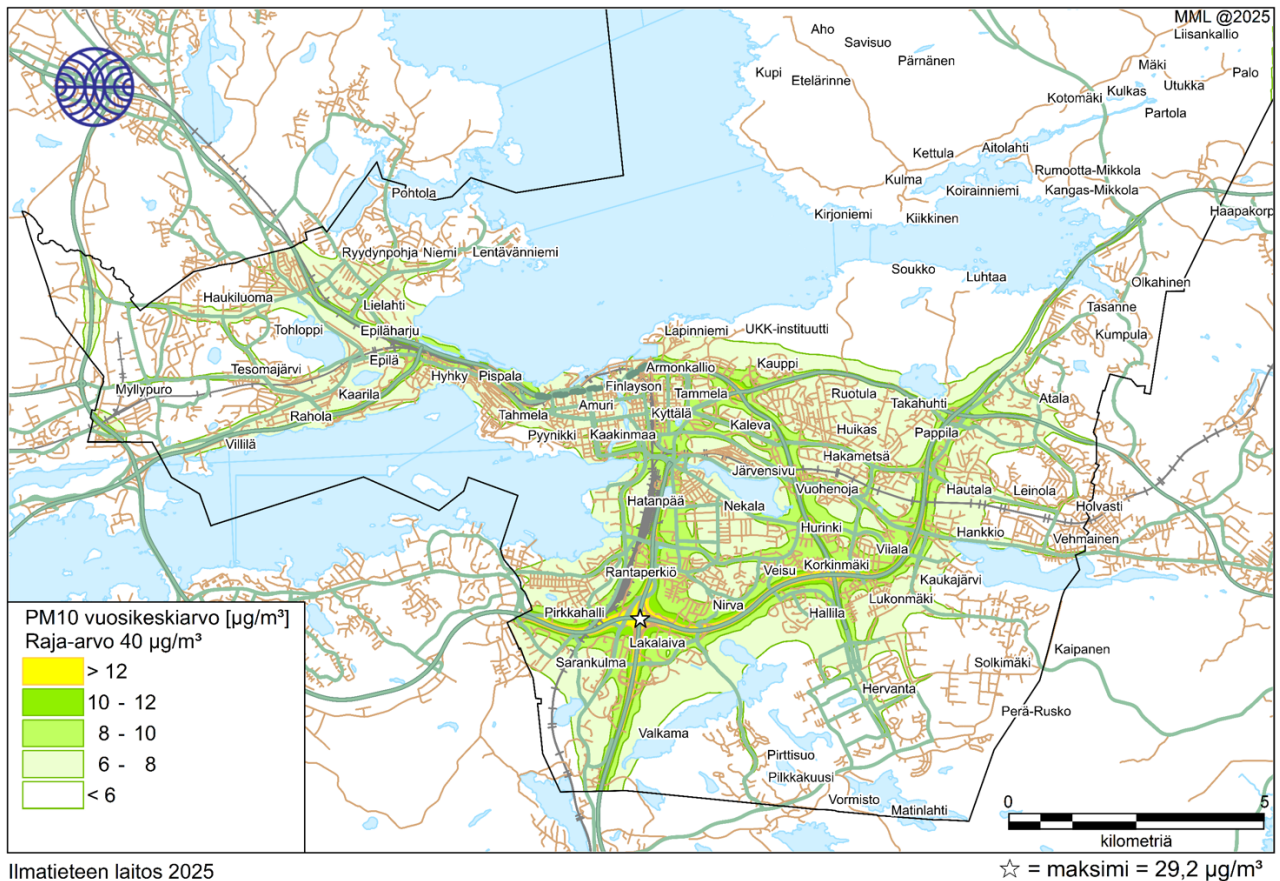
*sallitaan 35 ylitystä

**sallitaan 18 ylitystä

***pitoisuus mallinnettu pienhiukkasina

Tampereen kaikkien päästölähteiden päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 13. Hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudet on esitetty lisäksi raportin lopussa liitekuvin 35–36, 41–42 ja 47–48. Teollisuuden ja energiantuotannon osalta mallilaskelmissa on otettu huomioon ainoastaan piipuista ja poistohormeista vapautuvat päästöt, eikä laskelmissa ole huomioitu erilaisista hajapäästölähteistä vapautuvia hiukkaspäästöjä tai erilaisia pölyäviä toimintoja.

Mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat vuosisiraja-arvon kaikkialla Tampereella. Vuosikeskiarvopitoisuus (raja-arvo 40 µg/m³) on Tampereella korkeimmillaan Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä 29,2 µg/m³. Vilkaasti liikennöityjen valtateiden läheisyydessä havaitaan yli 10 µg/m³ pitoisuuksia, mutta pitoisuudet laskevat selvästi, kun siirrytään kauemmas vilkasliikenteisistä teistä, ja osassa asuinalueita ja syrjäisemmillä alueilla pitoisuudet ovat alle 6 µg/m³.



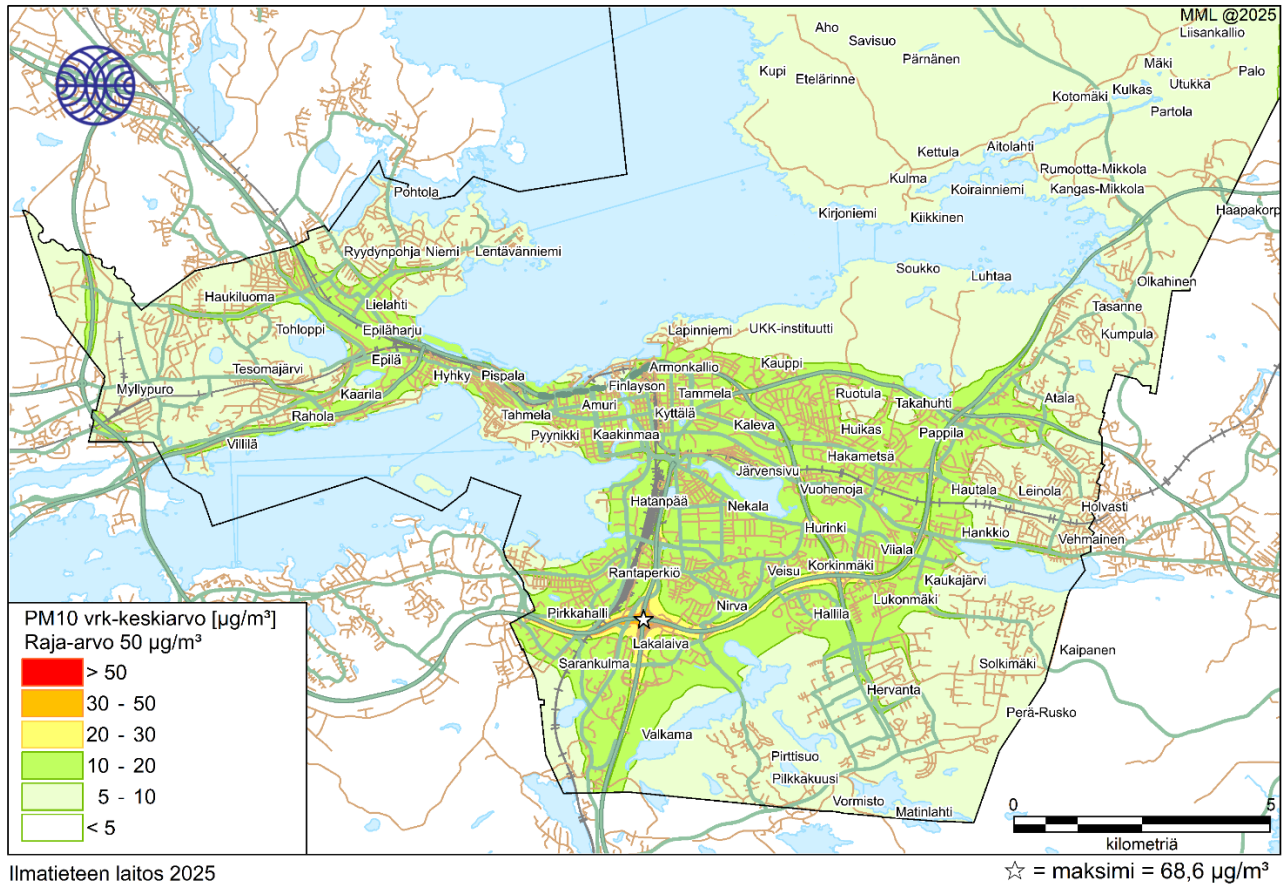
Kuva 13 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella **nykytilanteessa**. Vuonna 2030 voimaan tuleva uusi raja-arvo on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sallitaan 35 ylitystä) alittuu Tampereella kaikkialla paitsi yksittäisissä pisteissä vilkkaasti liikennöidyillä valtateillä, missä raja-arvot eivät ole voimassa (kuva 14, liitekuvat 41–42). Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus $68,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ havaitaan Valtateiden 3 ja 9 risteysalueella. Valtateiden läheisyydessä voidaan mallinnuksen mukaan havaita yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia ja kaikkein tiivimmin asutetuilla asuinalueilla pitoisuudet vaihtelevat $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä.

Tampereen kaikkien päästölähteiden ja alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannollinen pitoisuus on esitetty liitekuvassa 67–68. Vuorokausiohjearvo ylittyy Tampereen kaupungin alueella vilkaasti liikennöityjen Valtateiden 3, 9 ja 12 sekä Hervannan valtavyöhykkeen ja Tampereen valtatie läheisyydessä. Korkein pitoisuus, $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$, havaitaan jälleen Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä. Vaikka pitoisuudet pienenevät siirryttäessä vähemmän vilkkaasti liikennöidyille alueille, monilla tiheään asutetuilla alueilla havaitaan $50\text{--}70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia. Kauempana Tampereen keskustasta sijaitsevilla asuinalueilla, kuten Hervannassa ja Tesomajärvellä pitoisuudet ovat $20\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Syrjäisimmillä alueilla pitoisuudet putoavat alle $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Autoliikenteen katupölypäästöt tuottavat selvästi korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ja muilla päästölähteillä on pienempi vaikutus hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuuksiin. Pitoisuudet pienenevät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä ja

risteysalueista. Katupölypäästöihin ja korkeisiin hetkellisiin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa paikallisesti tehokkaalla ja oikea-aikaisella katujen kunnossapidolla.

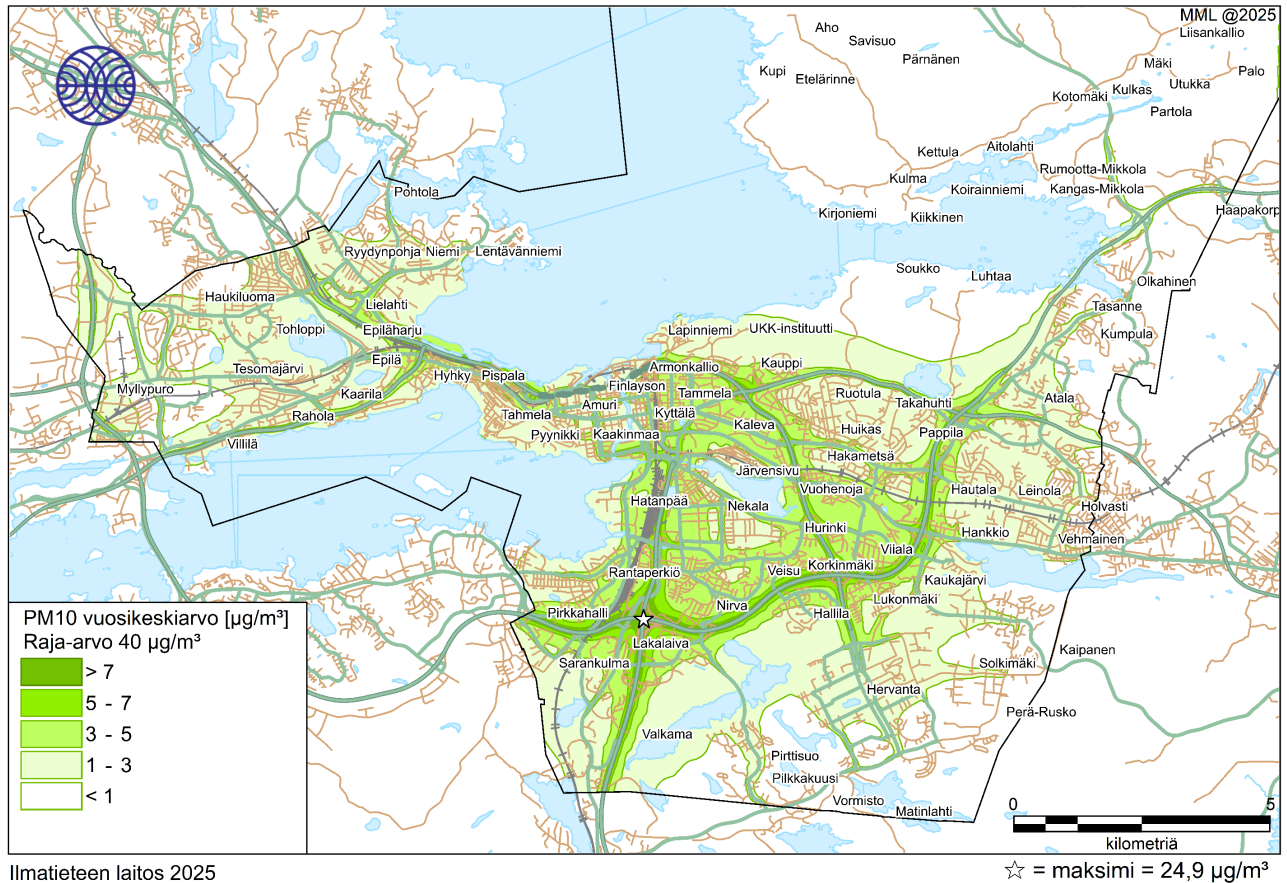


Kuva 14 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä pienhiukkasten alueellisen taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa.

2.3.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin

Seuraavaksi tarkastellaan yksityiskohtaisemmin eri päästölähteiden vaikutusta hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2021 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 15 sekä liitekuvisa 37–38 ja 43–44. Tulosten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on korkeimmillaan Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä ollen $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lähellä vilkkaasti liikennöityjä teitä ja tiivistä asutetuilla alueilla hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat $3\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja syrjäisemmillä alueilla alle $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pudoten maaseudulla alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

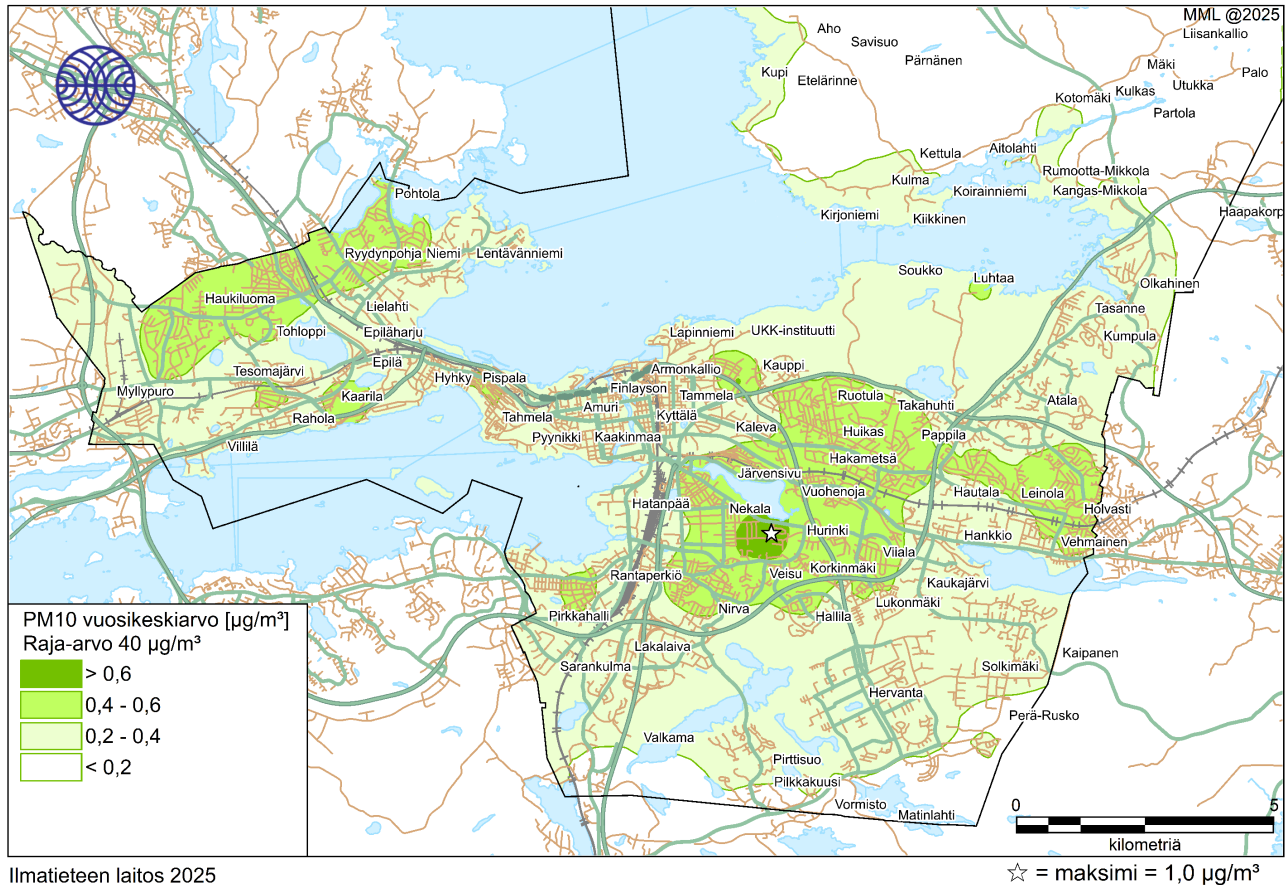
Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus on Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, liitekuva 64–45). Kaikkein vilkkaimpien valtaväylien välittömän läheisyyden ulkopuolella pitoisuudet ovat alle $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkaasti liikennöityjen teiden läheisyydessä pitoisuudet ovat $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Harvemmin asutuilla alueilla, joilla autoliikennettä on vähemmän, pitoisuudet putoavat alle $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 15 Autoliikenteen vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen vuoden 2021 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 16 sekä liitekuvin 39–40 ja 45–46. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla ja suurimmat pitoisuudet havaitaan mallin mukaan Nekalassa, jossa vuosikeskiarvopitoisuus saavuttaa $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pientalovaltaisten alueiden ulkopuolella pitoisuudet ovat alle $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat korkeimmat vuorokausiraja-arvoon ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeimmillaan $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja niiden alueellinen jaukauma on hyvin samanlainen kuin vuosikeskiarvopitoisuuden (liitekuvat 45–46). Korkeimmat pitoisuudet saavutetaan jälleen Nekalassa. Tiiviillä pientaloalueilla pitoisuudet ovat $1\text{--}1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja väljemmin asutetuilla alueilla kkerrostalovaltaisilla alueilla pitoisuudet ovat alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 16 Kiinteistökohtaisen lämmityksen vuotta 2021 edustavien päästöjen yksinään aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella ilman alueellista taustapitoisuutta.

2.3.3 Tulevaisuuden skenaarion (2040)

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille tehtiin myös ennuste vuodelle 2040. Kuva 17 näyttää mallitulokset vuosikeskiarvoina vuodelle 2021 ja 2040 vierekkäin. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien ennustetaan nousevan autoliikenteen lisääntymisen seurauksena ja autoliikenteen aiheuttama katupöly säilyy suurimpana hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien lähteenä. Ennusteen mukaan korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet tullaan edelleen havaitsemaan suurten liikenneväylien läheisyydessä ja kaikkein korkein vuosipitoisuus, $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, havaittaisiin Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä. Vuonna 2040 on voimassa vuonna 2030 voimaan tuleva lainsäädäntö, jossa hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvo on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ennusteen mukaan tämä ylittyisi vain yksittäisissä pisteissä vilkkaasti liikennöidyillä teillä. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen ennustetaan laskevan, mutta niiden vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuteen on hyvin vähäinen. Kiinteistökohtaisille päästöille ei ole ennustetta.

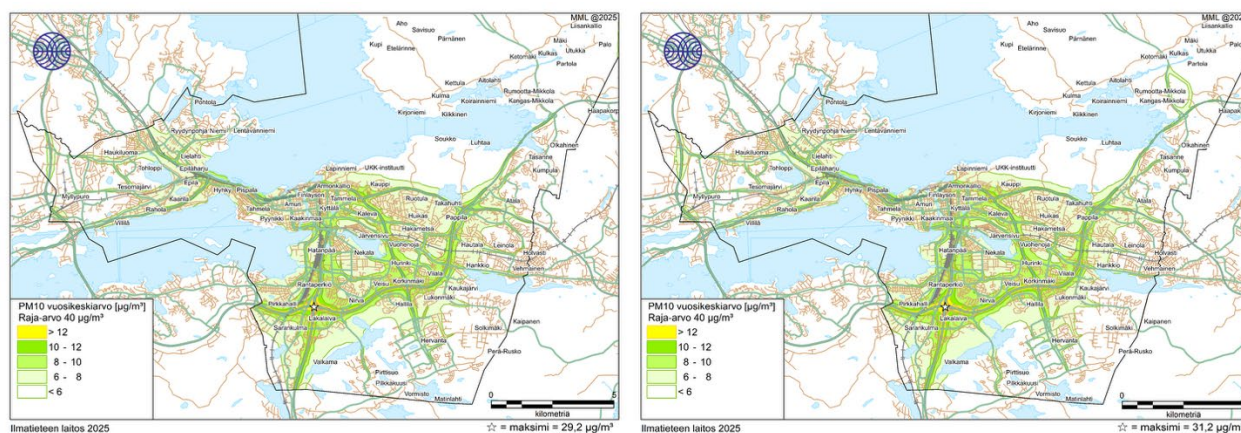
Jos tuloksia tarkastellaan vuorokausiraja-arvotasolla (liitekuva 69–70), yksittäisissä pisteissä vilkkaasti liikennöidyillä teillä havaitaan raja-arvon ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylityksiä, mutta muualla pysytellään raja-arvon alapuolella. Tiiviisti asutetuilla alueilla, kuten Tampereen keskustassa ja sen ympäristössä pitoisuudet vaihtelevat ennustetussa päästötilanteessa $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä ja vähemmän asutetuilla alueilla pitoisuudet pysyttelevät alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Katupölyn hallintaan on kuitenkin hyvä kiinnittää huomiota myös jatkossa, jotta hengitettävien hiukkasten pitoisuudet pysyvät hyväksyttävällä tasolla.

Taulukko 8 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat vuonna 2030 voimaan tulevaan raja-arvoon verrannolliset mallinnetut hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) **ennustetussa tilanteessa vuonna 2040**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusalueutta.

PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Auto-liikenne	Energiantuotanto ja teollisuus***	Kiinteistökohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	20	23	0,01	1	31
Vuorokausiraja-arvo	45**	102**	0,07**	3**	110**

**sallitaan 18 ylitystä

***pitoisuus mallinnettu pienhiukkasina



Kuva 17 Autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa (vasemmalla) ja vuonna 2040 (oikealla). Kuvan värityksen skaala on verrannollinen nykyiseen raja-arvoon (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo on 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.4 Mustan hiilen pitoisuudet (BC)

2.4.1 Nykytilanne

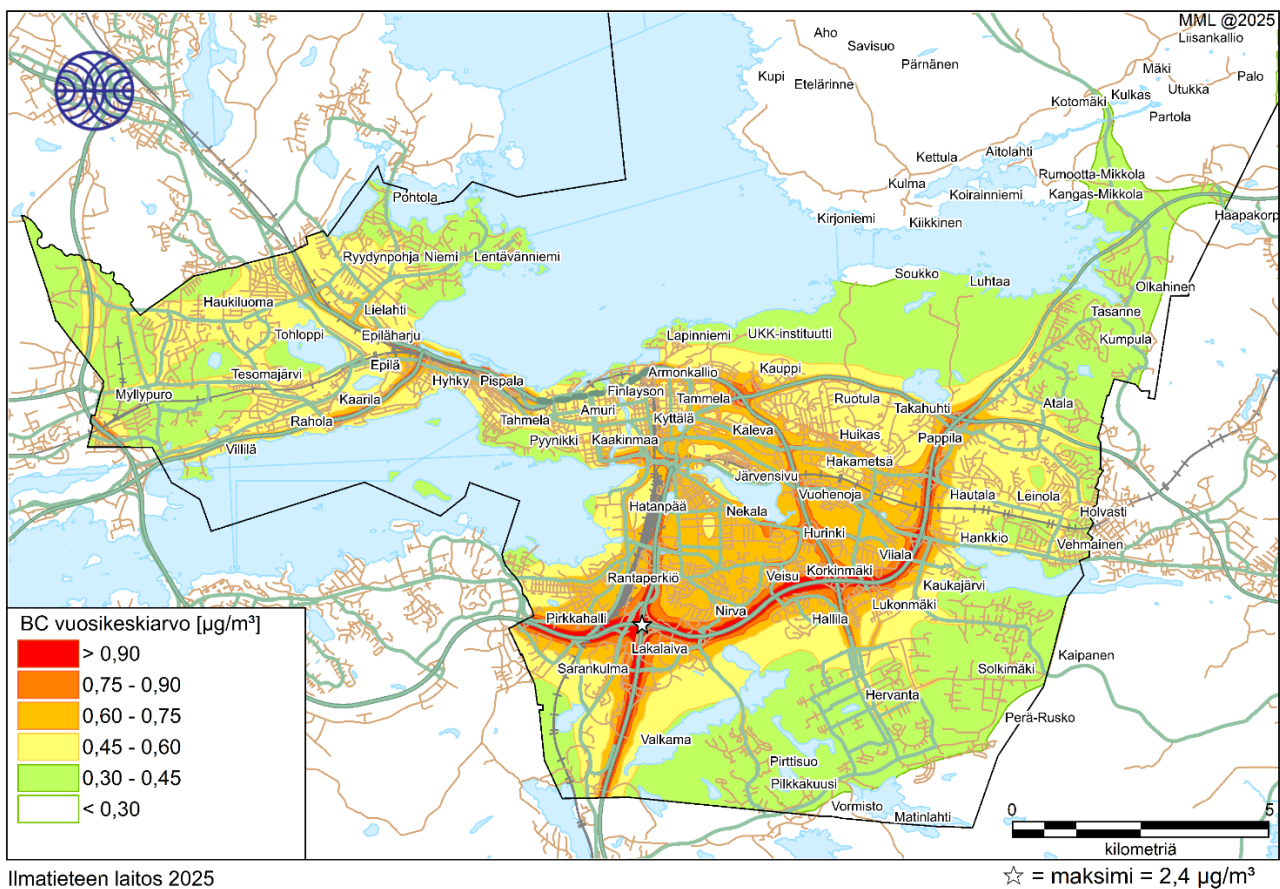
Paikallisilla päästölähteillä on merkittävä vaikutus mustan hiilen pitoisuuksiin Tampereella. Etenkin vilkasliikenteiset tiet nostavat mustan hiilen pitoisuuksia lähellä päästölähdettä, mutta myös kotitalouksien puunpoltolla tulisijoissa ja taustapitoisuudella on merkittävä vaikutus pitoisuuksiin. Leviämismallinnuksessa käytetty mustan hiilen taustapitoisuus vuosina 2021–2023 oli keskimäärin 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Taustapitoisuuden määrittämisessä käytettiin Juupajoen Hyytiälän mittauksia. Mustalle hiilelle ei ole määritelty EU raja-arvoa tai WHO:n suosittelemaa ohjearvoa.

Tampereen kotitalouksien puunpolton ja autoliikenteen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus on esitetty kuvassa 18 ja liitekuvassa 27. Autoliikenne aiheuttaa kaikkein korkeimmat pitoisuudet ja leviämismallinnuksen kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama mustan hiilen

vuosikeskiarvopitoisuus on yli $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vilkasliikenteisten väylien välittömässä läheisyydessä. Korkein vuosikeskiarvopitoisuus, $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, havaitaan Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä. Vilkkaiden liikenneväylien ympäristössä ja tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla mustan hiilen vuosikeskiarvo on yli $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kauempana kaikkein vilkkaimmin liikennöidyistä alueista, esimerkiksi Tampereen keskustan länsiosissa ja läntisen Tampereen asuinalueilla mustan hiilen pitoisuudet vaihtelevat välillä $0,45\text{--}0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja keskustan ulkopuolisilla asuinalueilla, kuten Hervannan ympäristössä välillä $0,3\text{--}0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikkein syrjäisimmillä alueilla, kuten Aitolahdessa pitoisuudet putoavat alle $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Taulukko 9 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat mustan hiilen pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella vuosina 2021–2023. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Mustalle hiilelle ei ole raja- tai ohjearvoja.

BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Auto-liikenne	Kiinteistö-kohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	2,1	0,3	2,4

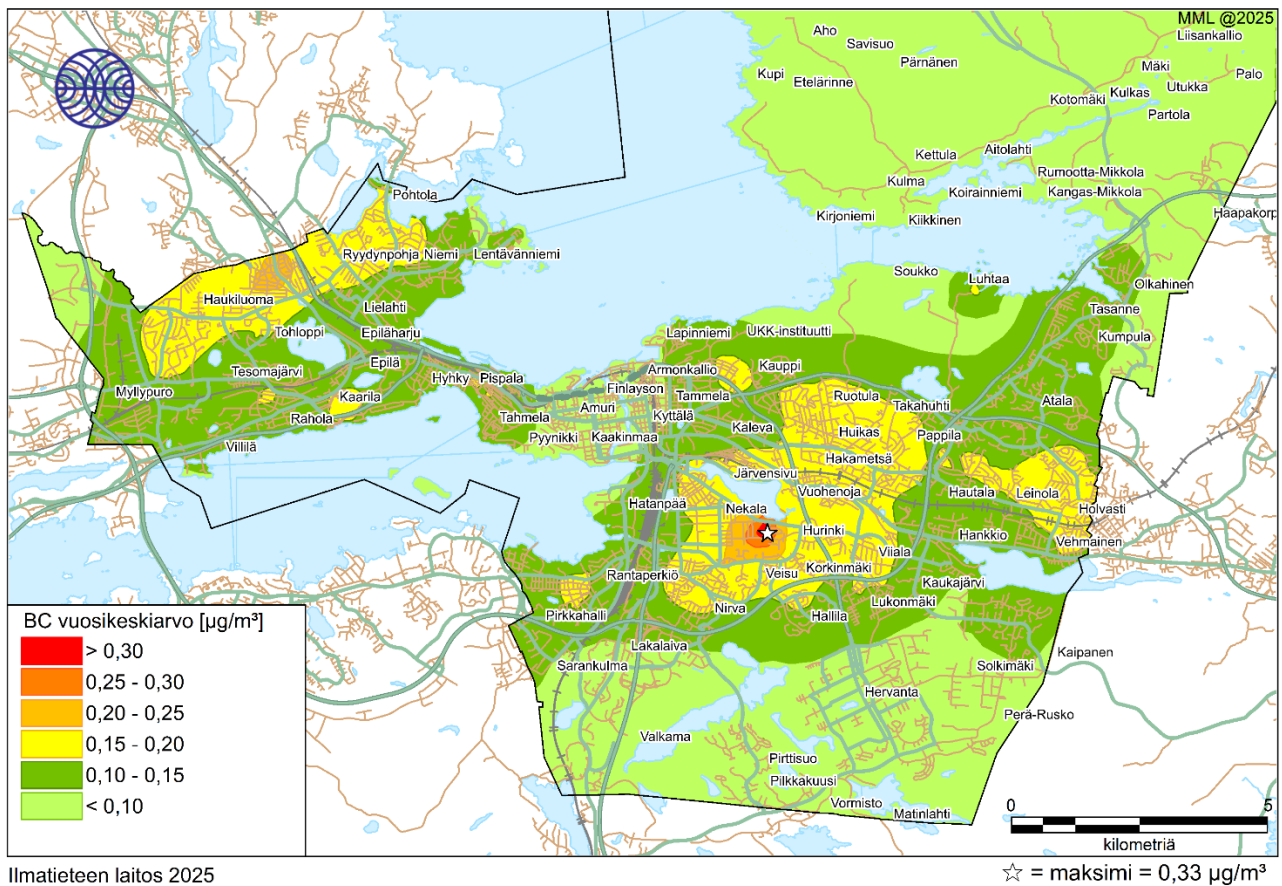


Kuva 18 Kotitalouksien puunpolton, autoliikenteen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama mustan hiilen (BC) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa.

2.4.2 Eri päästölähteiden vaikutus mallinnettuihin pitoisuuksiin

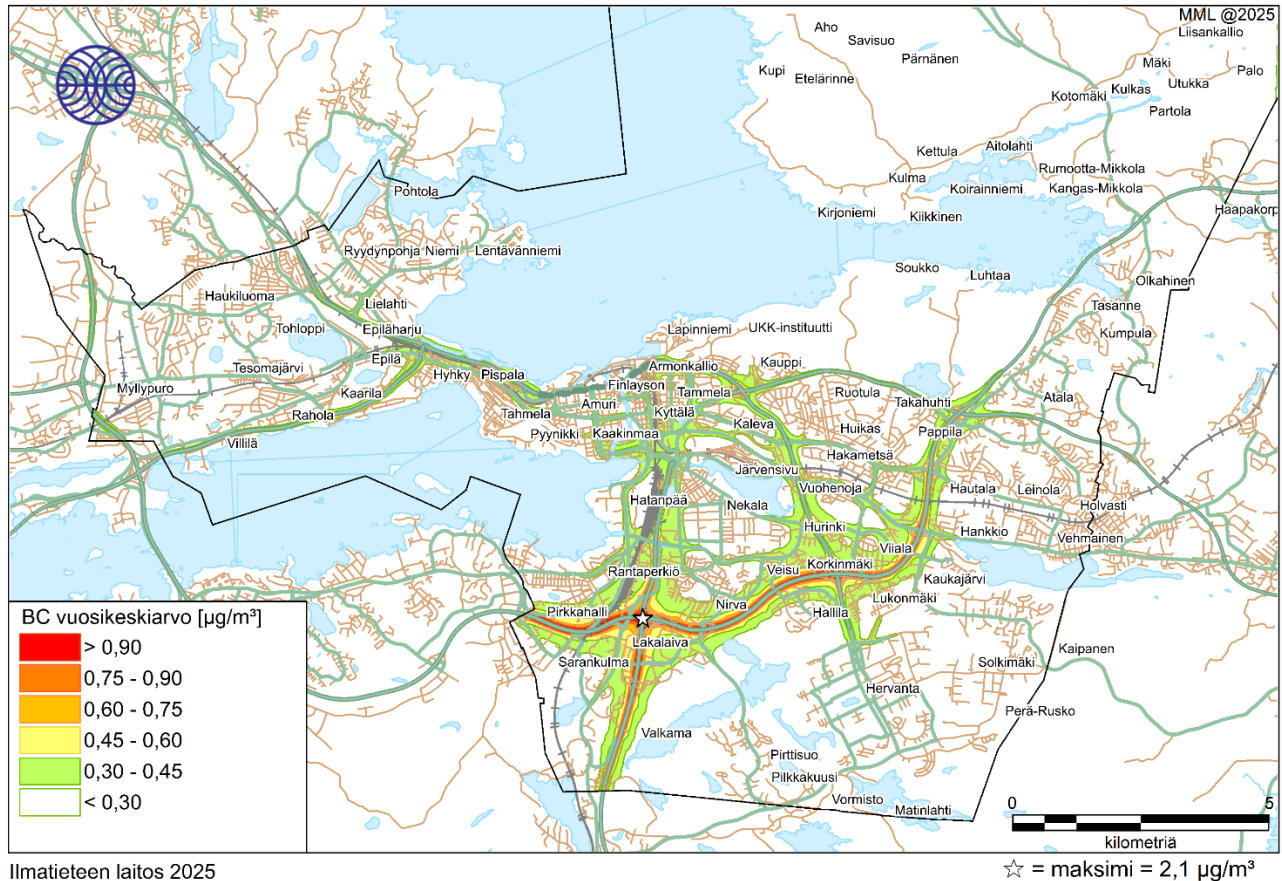
Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kotitalouksien puunpolton vuoden 2021 päästöjen yksinään aiheuttamat korkeimmat mustahiilipitoisuudet pääkaupunkiseudulla on esitetty kuvassa 19 sekä liitekuvissa 28 ja 34–36.

Kotitalouksien puunpolton päästöjen aiheuttamat mustahiilipitoisuudet ovat suurimmillaan tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Korkein mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus ($0,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) havaitaan Nekalassa ja yli $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia havaitaan myös Haukiluonman läheisyydessä. Muilla tiiviisti asutetuilla pientaloalueilla pitoisuudet vaihtelevat $0,15$ – $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä, kerrostaloalueilla ja väljästi asutetuilla alueilla pitoisuudet ovat alle $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 19 Kotitalouksien puunpolton päästöjen yksinään aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa ilman alueellista taustapitoisuutta.

Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut autoliikenteen vuoden 2021 pakokaasupäästöjen aiheuttamat korkeimmat mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuudet pääkaupunkiseudulla on esitetty kuvassa 20 sekä liitekuvassa 29. Tulosten mukaan autoliikenteen päästöt aiheuttavat vilkasliikenteisten väylien välittömässä läheisyydessä yli $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lisäyksen alueen mustahiilipitoisuuksiin. Liikenteen päästöjen vaikutus mustahiilipitoisuuksiin pienenee nopeasti etäisyyden kasvaessa liikenneväylään ja pienempien vilkkaasti liikennöityjen teiden läheisyydessä pitoisuudet ovat $0,15$ – $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vähemmän liikennöidyillä alueilla alle $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 20 Autoliikenteen pakokaasupäästöjen aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa ilman alueellista taustapitoisuutta.

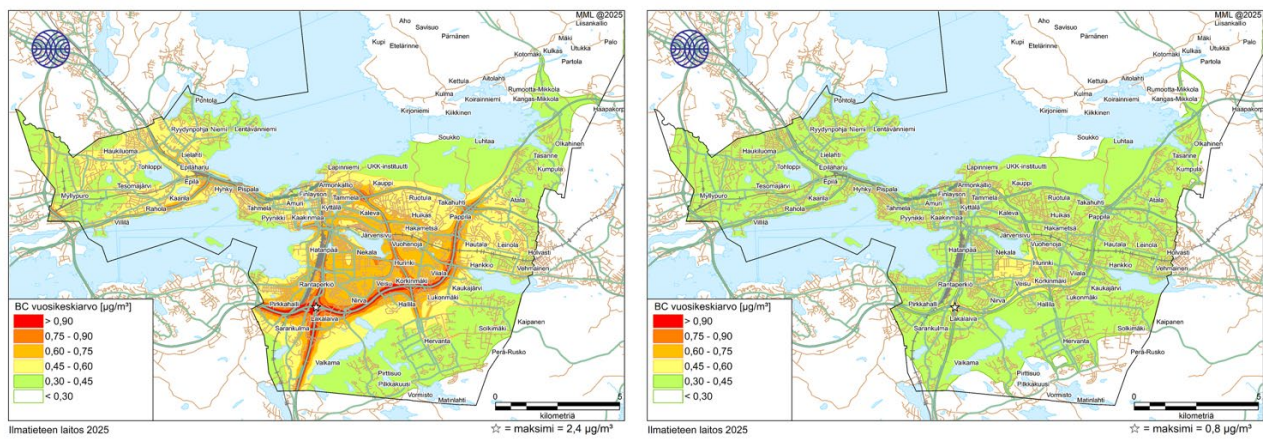
2.4.3 Tulevaisuuden skenaario (2040)

Myös mustan hiilen pitoisuuksille mallinnettiin ennustettu päästötilanne vuodelle 2040. Taulukko 10 näyttää vuodelle 2040 ennustetut pitoisuudet ja kuva 21 näyttää vierekkäin vuoden 2021 mallinnuksen ja vuoden 2040 ennusteen. Autoliikenteen päästöjen ennustetusta laskusta johtuen mustan hiilen pitoisuudet ovat vuonna 2040 selvästi matalammat kuin nykymallinnuksessa. Kun autokanta uusiutuu ja sähköistyy, autojen tuottamat mustan hiilen päästöt laskevat, vaikka liikennemäärien on ennustettu nousevan.

Kaikkein korkein pitoisuus havaitaan ennusteen mukaan edelleen Valtateiden 3 ja 9 risteyksessä, mutta yleisesti ottaen vilkkaasti liikennöidyt valtaväylät ja muut vilkkaasti liikennöidyt alueet eivät erotu kartalta enää yhtä selvästi kuin nykytilanteen mallinnuksessa. Valtatien 9 läheisyydessä ja Nekalan pientaloalueella havaitaan 0,45–0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksia, mutta muualla Tampereella pitoisuudet putoavat alle 0,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja syrjäisimmillä alueilla alle 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nekalan alueen nouseminen esiin osoittaa, kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus mustan hiilen pitoisuuksista tulee kasvamaan suhteessa autoliikenteen päästöihin.

Taulukko 10 Eri päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttamat korkeimmat mustan hiilen pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ennustetussa tilanteessa **vuonna 2040**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusaluetta. Mustalle hiillelle ei ole raja- tai ohjearvoja.

BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Auto- liikenne	Kiinteistö- kohtainen lämmitys	Kaikki yhteensä
Vuosikeskiarvo	0,4	0,3	0,8



Kuva 21 Kotitalouksien puunpolton, autoliikenteen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttama mustan hiilen (BC) vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Tampereella nykytilanteessa (vasemmalla) ja vuonna 2040 (oikealla).

2.5 Bentso(a)pyreenipitoisuudet (BaP)

2.5.1 Nykytilanne

Bentso(a)pyreenin mallinnus tehtiin van nykytilanteelle, sillä kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöille ei ole arviota vuodelle 2040 ja kiinteistökohtaiseen lämmitykseen liittyvät puunpolton päästöt ovat ainoa mallinnuksessa huomioitu lähde bentso(a)pyreenille. Leviämismallilaskelmien tuloksena saadut kiinteistökohtaisen lämmityksen puunpolton päästöjen aiheuttamat korkeimmat bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet Tampereella on esitetty kuvassa 22 ja liitekuviissa 49–50. Bentso(a)pyreenin pitoisuustuloksissa on huomioitu vain rakennusten lämmityslähteiden aiheuttamat puunpolton päästöt ilman alueellista taustapitoisuutta. Hyttiälän maaseututausta-
asemalla bentso(a)pyreenin taustapitoisuuden vuosikeskiarvo on ollut 0,09–0,11 ng/m^3 vuosina 2021–2024 (Ilmatieteen laitos, 2025).

Leviämismallilaskelmien mukaan kiinteistökohtaisen lämmityksen puunpolton päästöjen aiheuttamat suurimmat bentso(a)pyreenipitoisuudet syntyvät tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla, kuten Nekalassa, Huikkaalla, Haukiluomassa ja Leinolassa. Kaikilla näillä alueilla bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat mallinnuksen mukaan yli 1,5 ng/m^3 ollen korkeimmillaan Nekalassa 2,1 ng/m^3 . Tämä ylittää bentso(a)pyreenin nykyisen tavoitearvon ja 2030 voimaan tulevan raja-arvon, jotka ovat molemmat 1 ng/m^3 . Näiden alueiden lisäksi 1–1,5 ng/m^3 pitoisuuksia esiintyy laajoilla alueilla sekä Länsi-Tampereella, että Tampereen keskustan itäpuolella. Tavoitearvo on määritelty kokonaislukuna, joten alle 1,5 ng/m^3 pitoisuudet pyöristyvät

1 ng/m³ ja näin näiden alueiden ei voida katsoa ylittävän tavoitearvoa. Vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo puolestaan on ilmoitettu yhden desimaalin tarkkuudella (1,0 ng/m³), joten se ylittyisi näillä alueilla.

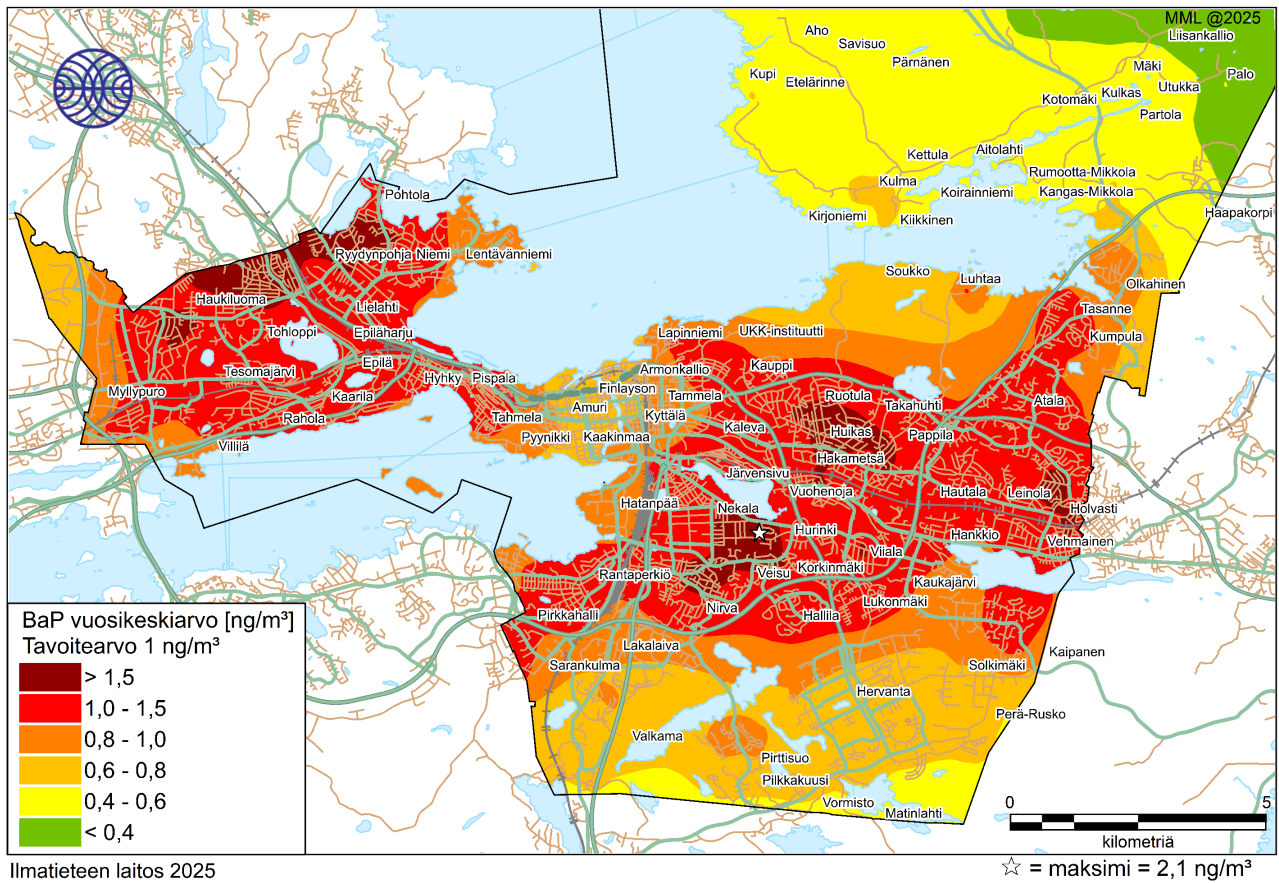
Harvemmin asutuilla ja kerrostalovaltaisilla alueilla, kuten Tampereen keskustassa ja Hervannassa pitoisuudet ovat 0,6–1 ng/m³ välillä, eli ne ylittävät bentso(a)pyreenin ylemmän arviointikynnyksen (0,6 ng/m³). Syrjäisemmillä alueilla mallinnetun alueen etelä- ja pohjoisreunoilla pitoisuudet putoavat alle 0,6 ng/m³, mutta ovat yhä korkeampia kuin bentso(a)pyreenin alempi arviointikynnyks 0,4 ng/m³ lukuunottamatta mallinnetun alueen koillisnurkkaa (Liisankallion ja Palon alueet).

Mallilaskelmien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat merkittävästi mallin lähtötietoina käytettävien meteorologisten tietojen, taustapitoisuuksien sekä päästötietojen ja muiden lähtötietojen oikeellisuus. Itä-Suomen yliopisto ja SYKE päivittivät kotitalouksen puunpoltton aiheuttamia bentso(a)pyreenin päästökertoimia vuonna 2021, mutta pääkaupunkiseudulle toteutettujen useiden eri mittausasemien tuloksilla tehdyn malli-mittausvertailun tulosten perusteella (Latikka, ym., 2023) kotitalouksien puunpoltolle lasketut BaP-päästöt näyttävät yliarvioivan pitoisuuksia. Mallinnuksen yliarviointi painottuu kaikilla mittausasemilla lämmityskaudelle, jolloin kotitalouksien päästöt ovat suuremmat ja sääolosuhteet nostavat pitoisuuksia. Mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien ero vaihtelee paljon eri mittausasemien ja vuosien välillä.

Ilmanlaadun jatkuvia mittauksia on tehtävä seuranta-alueilla, joilla ylempi arviointikynnyks ylittyy. Seuranta-alueilla, joilla pitoisuudet ovat ylemmän ja alemman arviointikynnyksen välillä, ilmanlaadun arvioimiseksi voidaan käyttää jatkuvien ja suuntaa-antavien mittausten sekä mallintamistekniikoiden yhdistelmää. Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyks katsotaan ylittyvän vasta, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna viiden vuoden aikana. Bentso(a)pyreenin seuranta-alueet ovat pääkaupunkiseutu ja muu Suomi.

Taulukko 11 Kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamaa korkeimmat bentso(a)pyreeni pitoisuudet voimassa olevaan tavoitearvoon ja vuonna 2030 voimaan tulevaan raja-arvoon verrannollisena (ng/m³) Tampereella **vuosina 2021–2023**. Korkeimmat arvot esiintyvät eri laskentapisteissä eri puolilla tutkimusalueetta.

BaP (ng/m ³)	Tavoitearvo (nykyinen)	2030 voimaan tuleva raja-arvo	Kiinteistö- kohtainen lämmitys
Vuosikeskiarvo	1	1,0	2,1



Kuva 22 Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) Tampereella nykytilanteessa ilman alueellista taustapitoisuutta.

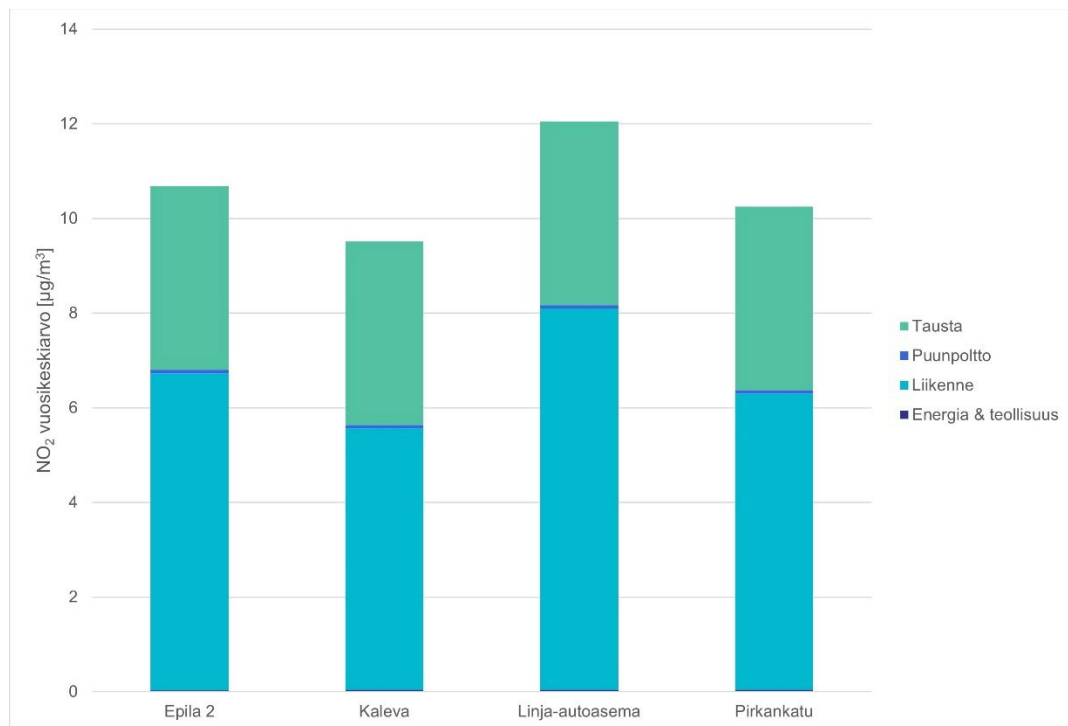
3 ERI PÄÄSTÖLÄHTEIDEN VAIKUTUS ILMANLAATUUN

Tampereen ilmanlaadun mittauspisteisiin mallinnettujen pitoisuuksien avulla voitiin tarkastella eri päästölähdesektoreiden osuutta mallinnetuista epäpuhtauspitoisuuksista erityyppisissä ympäristöissä ja arvioida siten eri päästölähteiden vaikutusta ilmanlaatuun. Tarkastelussa olivat kaikki neljä ilmanlaadun mittausasemaa, riippumatta siitä, mitataanko kyseistä ilman epäpuhtautta tällä asemalla. Kuvissa 23–25 on esitetty eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista.

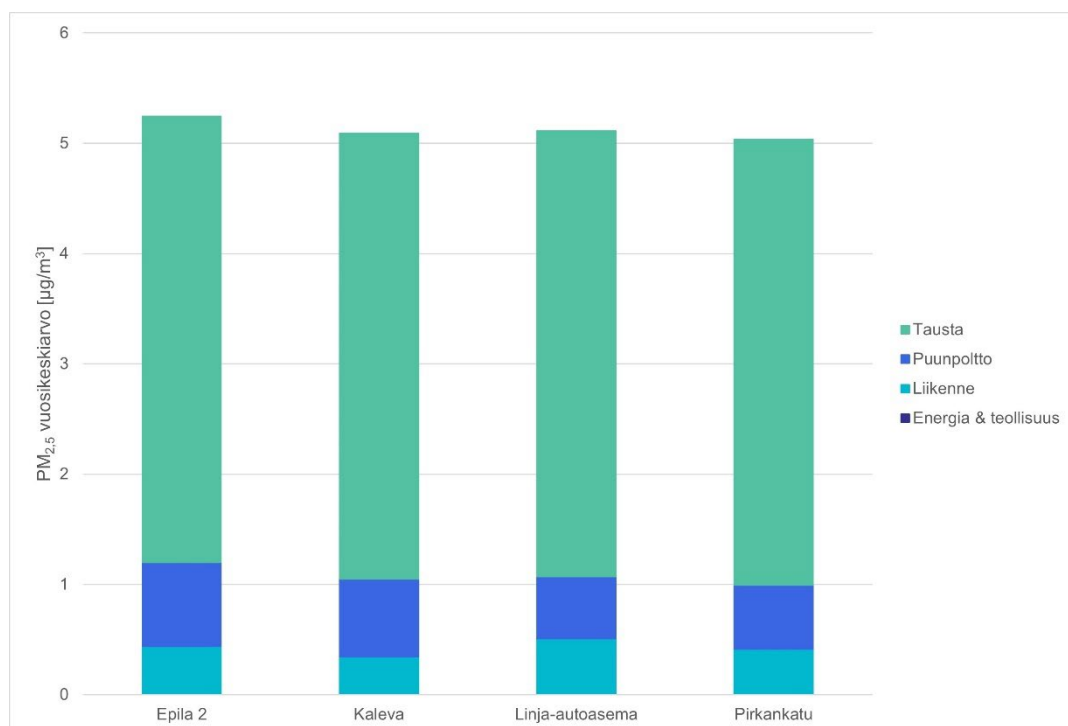
Autoliikenteen pakokaasupäästöt vaikuttavat eniten typpidioksidin pitoisuuksiin kaikilla mittausasemilla. Liikenteen päästöjen vaikutusosuus on pienimmillään Kalevan kaupunkitausta-asemalla ollen 58 % ja suurimmillaan Linja-autoaseman mittauspisteessä, jossa autoliikenteen päästöt aiheuttavat 67 % pitoisuuksista. Vastaavasti alueellisen taustapitoisuuden vaikutus on suurimmillaan Kalevan kaupunkitausta-asemalla (41 %) ja pienimmillään Linja-autoasemalla (32 %). Kiinteistökohtaisen lämmityksen vaikutusosuus sekä energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on alle 1 % typpidioksidipitoisuuksista.

Taustapitoisuus eli alueelle muualta kulkeutuneet pienhiukkaset aiheuttavat suurimman osan (77–80 %) pienhiukkaspitoisuuksista mittausasemilla. Suurin osa pienhiukkasten taustapitoisuudesta on kaukokulkeutunutta hiukkasmassaa, joka voi olla peräisin jopa tuhansien kilometrien päästä. Kiinteistökohtainen lämmitys vaikuttaa liikennepäästöjä enemmän pienhiukkaspitoisuuksiin. Kotitalouksien puunpolton osuus mallinnetuista pienhiukkaspitoisuuksista on suurimmillaan Epilän (15 %) ja Kalevan (14 %) mittausasemilla ja pienimmillään liikenneympäristöä edustavilla Linja-autoaseman ja Pirkankadun mittausasemilla, joissa molemmissa vaikutusosuus on noin 11 %. Autoliikenteen pakokaasupäästöjen ja katupölyn vaikutusosuus pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta on pienimmillään Kalevan kaupunkitausta-asemalla (7 %) ja suurimmillaan Linja-autoasemalla (10 %). Autoliikenteen katupölyn vaikutusosuus pienhiukkaspitoisuuksiin on suurempi kuin pakokaasupäästöjen. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on marginaalinen (0,1 %) kaikilla mittausasemilla.

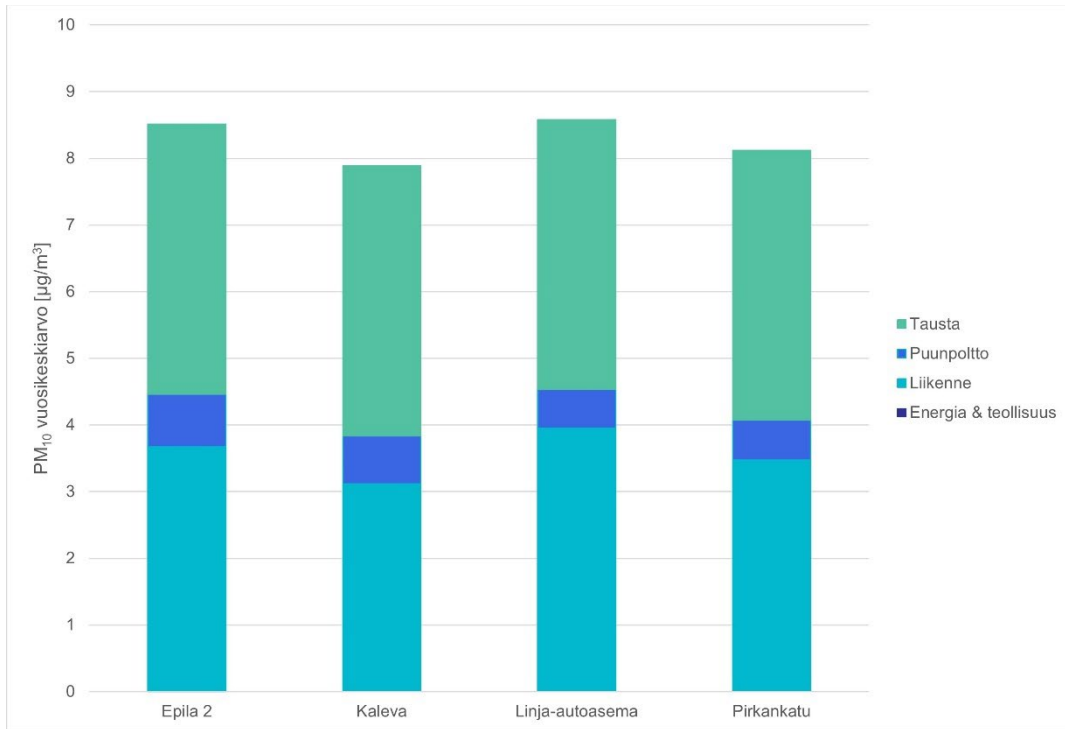
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta taustapitoisuuden osuus on eri asemilla 47–51 %. Autoliikenteen pakokaasupäästöjen ja katupölyn vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin on pienimmillään Kalevassa 40 % ja suurimmillaan Linja-autoasemalla (46 %). Autoliikenteen päästöistä katupölyllä on merkittävin vaikutus pitoisuuksiin. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus hiukkaspitoisuuksista on liikenneympäristöä edustavilla Linja-autoaseman ja Pirkankadun mittausasemilla noin 7 %. Epilän ja Kalevan mittausasemilla kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus pitoisuuksiin on noin 9 %. Energiantuotannon ja teollisuuden vaikutusosuus on kaikilla mittausasemilla marginaalinen, alle 0,1 %.



Kuva 23 Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä.



Kuva 24 Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä.

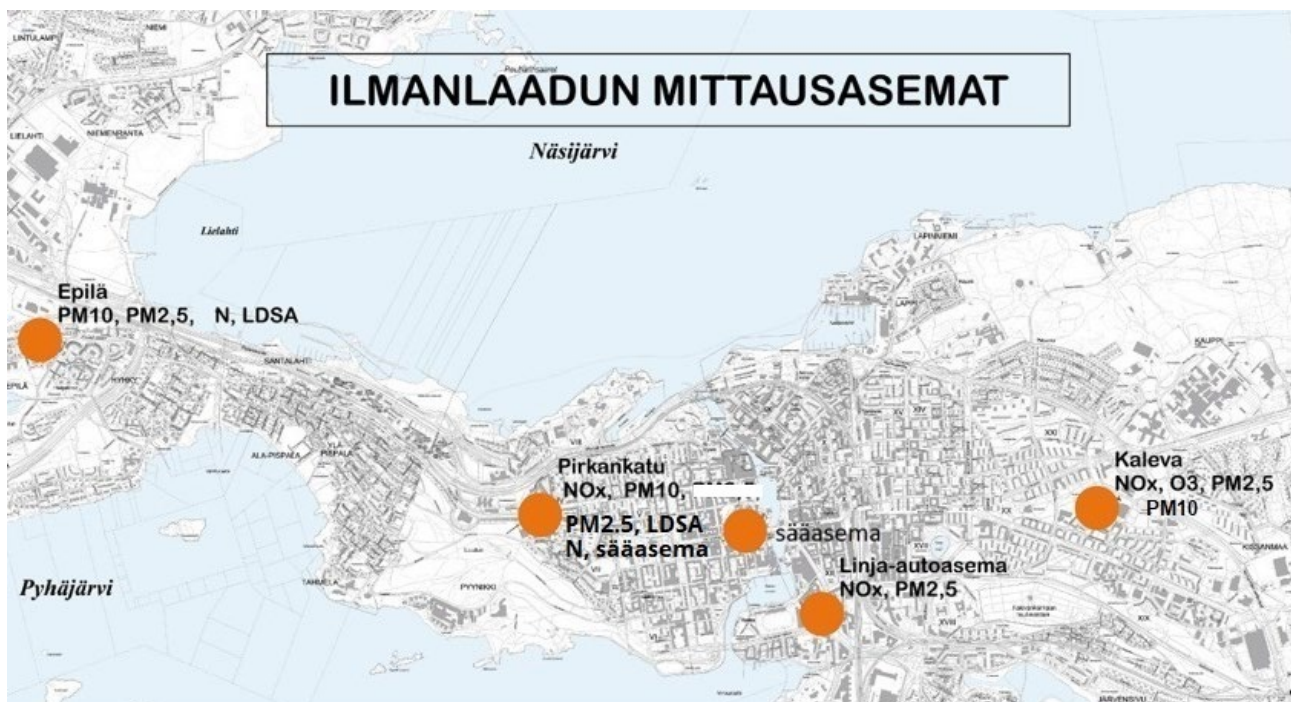


Kuva 25 Eri päästölähdesektoreiden osuus mallinnetuista hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksista ilmanlaadun mittauspisteissä.

4 MALLILASKELMIEN TULOSTEN ARVIOINTI

Mallituloksia ja mallilaskelmissa käytettyjen lähtötietojen oikeellisuutta arvioidaan vertaamalla mallinnettuja pitoisuuksia ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin raja-arvojen laskentajaksoilla. Tampereella on mitattu ulkoilman epäpuhtauksien pitoisuuksia vuosina 2021–2023 neljällä mittausasemalla, Epilässä, Pirkankadulla, Kalevassa ja Linja-autoasemalla (kuva 26). Näistä Pirkankadulla, Kalevassa ja Linja-autoasemalla mitattiin typen oksideja. Pienhiukkasia mitattiin kaikilla asemilla ja hengitettäviä hiukkasia Epilässä ja Pirkankadulla. Lisäksi Kalevassa mitattiin otsonia ja Epilässä ja Pirkankadulla hiukkasten lukumääräpitoisuuksia ja LDSA:ta, mutta näitä mittauksia ei käytetty tässä työssä.

Asemista Epilä on liikenneasema, joka sijaitsee esikaupunkialueella, joten siellä mitattaviin pitoisuuksiin vaikuttavat sekä liikenteen että kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt. Myös Pirkankatu voidaan luokitella liikenneasemaksi, mutta se sijaitsee lähempänä Tampereen keskustaa, joten liikenteen päästöt ovat siellä tärkeämmässä asemassa. Kalevan mittausasema puolestaan on kaupunkitausta-asema. Linja-autoaseman mittausasema sijaitsee Tampereen keskustassa tien läheisyydessä, mutta 6 m korkeudella, joten se edustaa parhaiten kaupunkitausta-asemaa. (Elsilä, 2025).

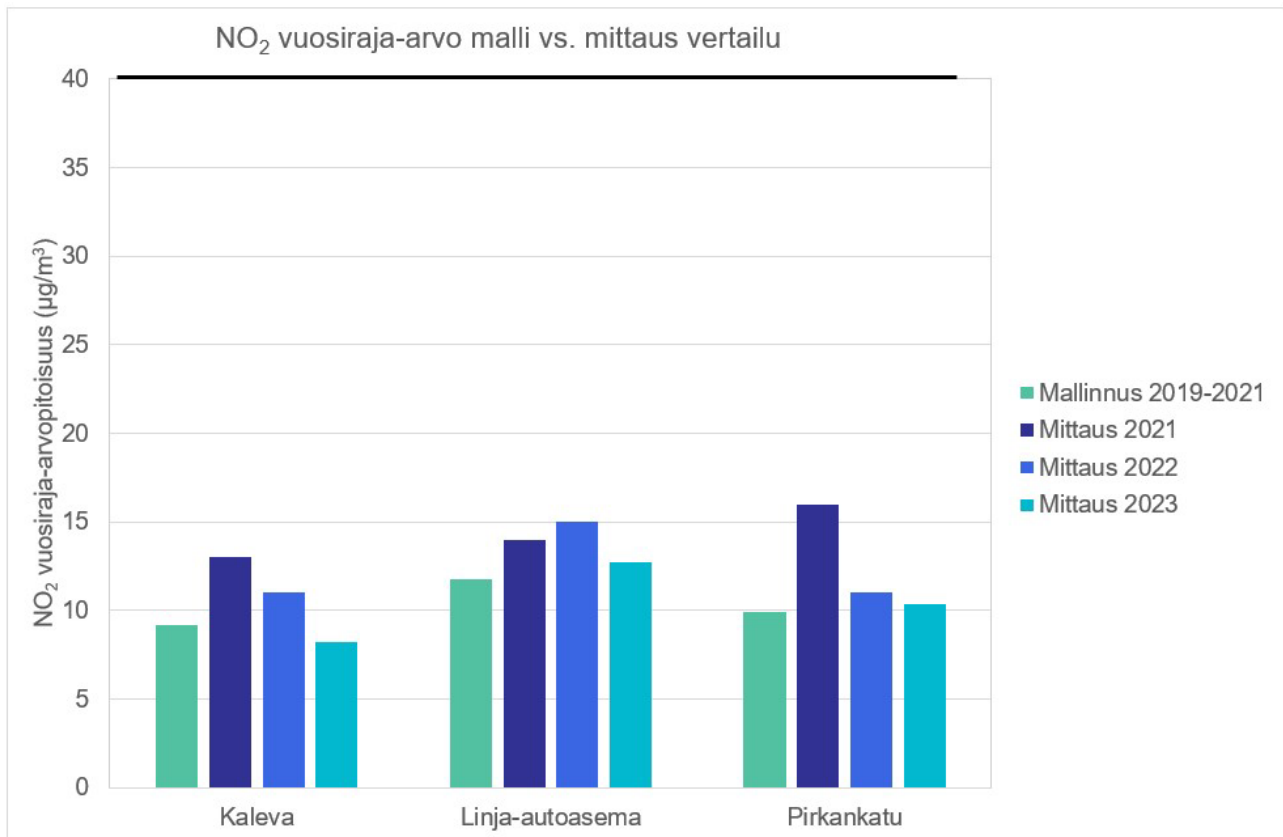


Kuva 26 Tampereen ilmanlaadun mittausasemat Epilässä, Pirkankadulla, Kalevassa ja Linja-autoasemalla. Lisäksi karttaan on merkitty kaupungin keskustassa sijaitseva sääasema. Kuva *Tampereen kaupunki, 2025*.

Mallinnettuja pitoisuustuloksia on verrattu vuosina 2021–2023 ilmanlaadun mittausasemilla mitattuihin pitoisuuksiin, koska mallinnuksessa käytetty meteorologinen aineisto kattoi vuodet 2021–2023. Mallinnus on tehty pääosin vuoden 2021 päästötiedoilla, joten mallitulosten tulisi parhaiten vertautua juuri vuoden 2021 mittauksiin. Mallinnetuissa pitoisuuksissa oli mukana autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet sekä alueelliset taustapitoisuudet. Mittausasemien mittauskorkeudet

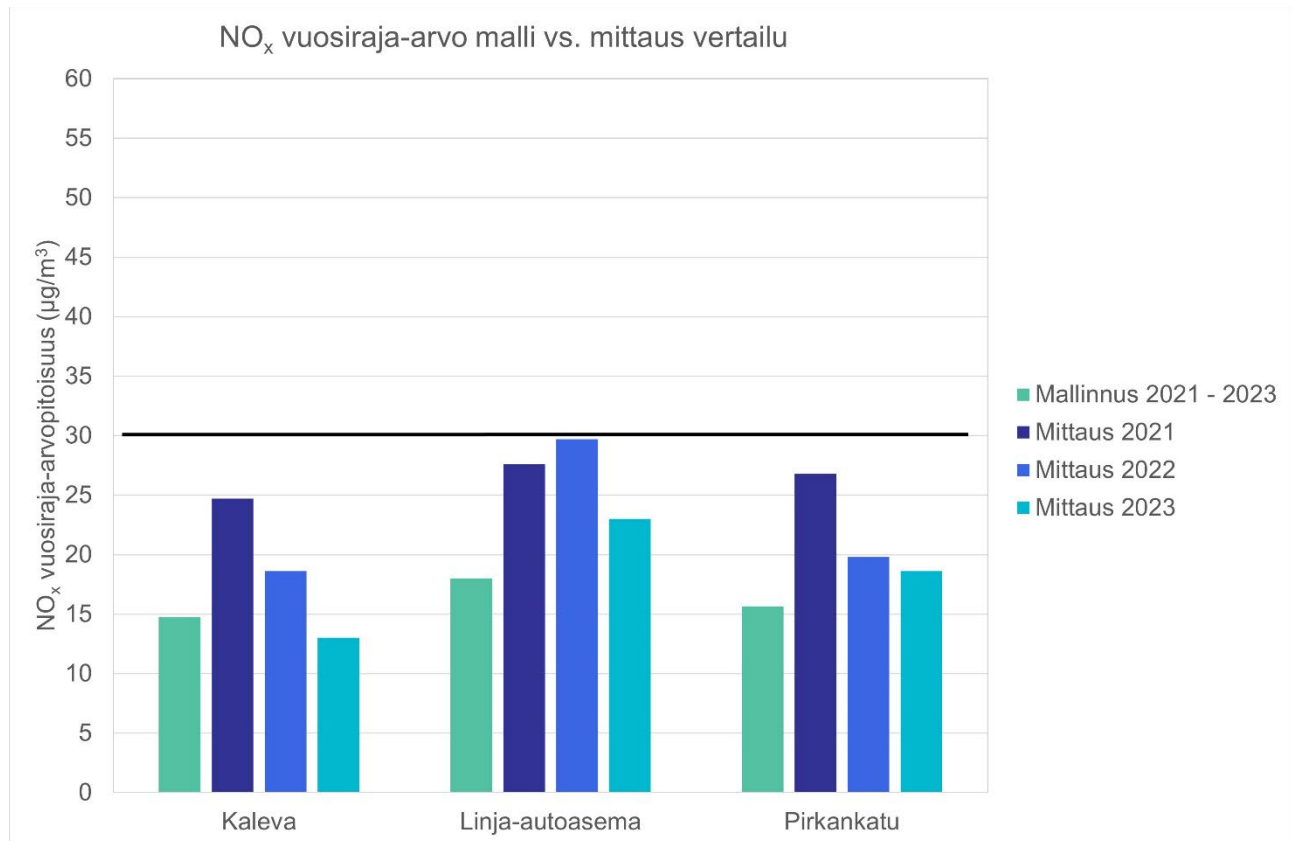
vaihtelevat 1,5–6 m välillä, mutta mallinnetut pitoisuudet on laskettu 2 m korkeudelle. Ilmanlaatuasetuksen (Vna 79/2017) mukainen laatuavoite mallintamisen epävarmuudelle on typpidioksidin ja typen oksidien vuosikeskiarvolle 30 % ja vuorokausiarvoille 50 % sekä hiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja mallinnetuista raja-arvoihin verrannollisista pitoisuuksista ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta.

Typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksien malli-mittausvertailu on esitetty kuvissa 27 ja 28. Mallinnetut typpidioksidin vuosikeskiarvo- ja vuorokausipitoisuudet vastasivat mitattuja pitoisuuksia enimmäkseen hyvin ja mallin epävarmuudet olivat korkeimmillaan vuosikeskiarvolle 38 % ja vuorokausiohjearvolle 49 %. Mallin laatuavoitteet täyttyivät lukuunottamatta joitain poikkeuksia. Yksi poikkeuksista oli Pirkankadun typpidioksidin vuosikeskiarvo, jossa mallinnettu vuosikeskiarvo oli vuonna 2021 38 % mittausta pienempi (sallittu epävarmuus 30 %). Muina vuosina asema täytti laatuvaatimukset.



Kuva 27 Mallinnettujen typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien vertailu Tampereen eri ilmanlaadun mittausasemien mittauksiin.

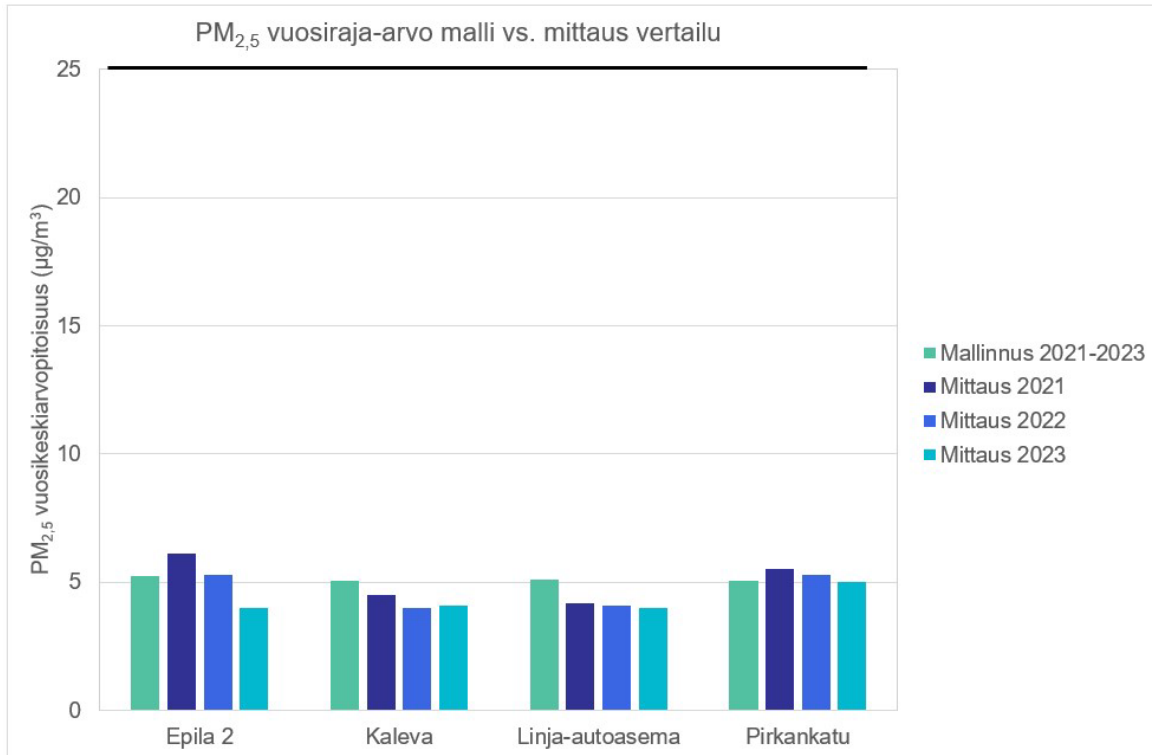
Typen oksidien osalta mallintamisen laatuavoitteet eivät täyttyneet vuonna 2021, jolloin mallinnetut pitoisuudet olivat 30–40 % pienemmät kuin mitatut pitoisuudet. Myös vuonna 2022 Linja-autoasemalla mitatut pitoisuudet olivat noin 40 % korkeammat kuin mallinnetut pitoisuudet. Muualla mittaukset täyttivät mallinnukselle asetetut laatuavoitteet.



Kuva 28 Mallinnettujen typen oksidin kriittiseen arvoon verrannollisten pitoisuuksien vertailu Tampereen eri ilmanlaadun mittausasemien mittauksiin.

Pienhiukkaspitoisuuksien malli-mittausvertailu on esitetty kuvassa 29. Vuosiraja-arvovertailussa mallinnusepävarmuus oli suurimmillaan 31 %. Tämä on hyvin laatutavoitteen 50 % sisällä. Kauempana liikenteestä sijaitsevilla Kalevan ja Linja-autoaseman mittauspisteillä mallinnus tuotti kaikkina vuosina hieman mittauksia pienempiä pitoisuuksia, kun taas Epilän ja Pirkankadun liikenneasemilla havaittiin joinain vuosina pientä yliarviointia ja toisina pientä aliarviointia.

Kun tarkasteltiin WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollisia pitoisuuksia, mallin epävarmuus oli suurimmillaan 49 %. Ohje ei ole sitova eikä sille ole olemassa mallintamisen laatutavoitetta. Vuorokausiohjeeseen verrattuna mallinnus aliarvioi pitoisuuksia kaikille asemille kaikkina tai lähes kaikkina vuosina. Tämä voi johtua leviämismallin vaikeuksista saada kiinni hetkellisiä korkeita pitoisuuksia. Tällaisia voi tulla esimerkiksi kaukokulkeuman takia. Malli ei myöskään pysty huomioimaan rakennustyömaita tai satunnaisia liikennemuutoksia. Huomattavaa on, että mallinnuksen mukaan pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen alittuisi kaikilla mittauspisteillä, mutta todellisuudessa mittauksissa havaitaan ohjeen ylityksiä. Ohje ei kuitenkaan ole sitova, vaan hiukkasten terveysvaikutuksiin pohjautuva suositus.

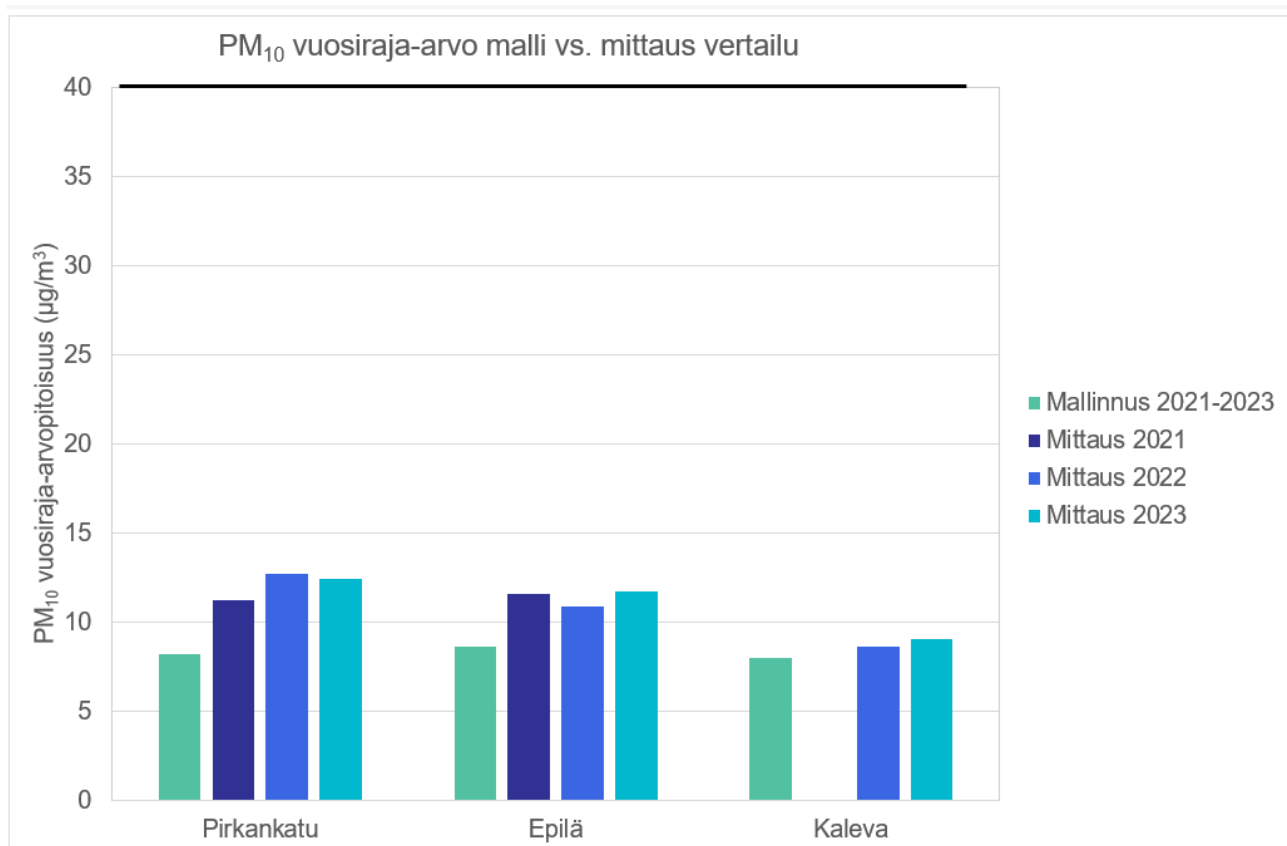


Kuva 29 Mallinnettujen ja mitattujen pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien vertailu Tampereen ilmanlaadun mittausasemilla.

Hengitettävien hiukkasten malli-mittausvertailu on esitetty kuvassa 30. Mallinnettu vuosikeskiarvopitoisuus vastasi melko hyvin mitattua hengitettävien hiukkasten pitoisuutta eroten mitatuista suurimmillaan 36 %. Mallintamisen laatutavoite hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuuksille täyttyi kaikkina tarkasteluvuosina. Leviämismalli pääsääntöisesti aliarvioi hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet erosivat mitatuista suurimmillaan 43 % ja vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet 70 %.

Parhaiten mallinnuksen tulokset olivat linjassa Kalevan mittausaseman kanssa. Kalevan asema on kaupunkitausta-asema, kun taas Pirkankadun ja Epilän mittausasemat ovat liikenneasemia. Korkeimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet johtuivat todennäköisesti katupölystä, joten malli on voinut aliarvioida katupölytilannetta. Vuorokausiohjearvoa tarkasteltaessa mallin epävarmuus oli suurimmillaan 69 %, ja vaikka mallin mukaan ohjearvo ei ylittyisi mittausasemilla, mittauksissa Pirkankadulla ja Epilässä havaittiin ohjearvon ylityksiä useina vuosina. Tämäkin voisi selittyä yksittäisillä katupölyepisodeilla. Ohjearvo ei kuitenkaan ole sitova eikä sille ole olemassa mallintamisen laatutavoitetta.

Leviämismallilla katupölytilanteiden todenmukainen kuvaaminen on haastavaa. Katupölypäästömallissa liikenteen PM₁₀-päästön määrä perustuu todellisiin havaittuihin sääolosuhteisiin ja sääolosuhteiden perusteella arvioituihin hiekoitusajankohtiin. Katupölypäästön määrässä ei siten ole otettu huomioon todellisia hiekoitusten ajankohtia, hiekoitusmääriä ja katujen puhdistamisen ja pölynsidonnan vaikutusta pölypäästöön. Myös liikennemäärien arviointi ja ympäristön ja rakennusten vaikutus päästöjen leviämiseen aiheuttavat epävarmuuksia mallinnustulokseen.



Kuva 30 Mallinnettujen ja mitattujen hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien vertailu Tampereen ilmanlaadun mittausasemilla.

Malli-mittausvertailun tulosten perusteella voidaan todeta, että leviämismallitulokset edustavat suurimmaksi osaksi hyvin Tampereen ilmanlaatuutilannetta eri alueilla. Mallitulosten epävarmuus kuitenkin kasvaa lyhytaikaisissa pitoisuuksissa vuosikeskiarvopitoisuuksiin verrattuna. Yhtenä syynä epävarmuuteen voi olla käytettyjen lähtötietojen tarkkuus (esim. liikennemäärät, päästötiedot ja niiden ajallinen vaihtelu).

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän ilmanlaatuselvityksen tarkoituksena oli hankkia leviämislaskelmien avulla tietoa Tampereen ilmanlaadusta ja sen alueellisesta vaihtelusta sekä eri päästölähteiden vaikutusosuudesta ilmanlaatuun. Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin Tampereen merkittävimpien päästölähteiden eli autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia nykytilanteessa ja tulevassa tilanteessa (2040). Leviämismallilaskelmien avulla tarkasteltiin ulkoilman typidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, mustan hiilen ja bentso(a)pyreenin pitoisuuksia ulkoilmassa hengityskorkeudella. Ilmanlaatuselvityksen tuloksina saatuja pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun vertailuarvoihin. Leviämismallilla tehtiin nykyisen tilanteen (2021) arvion lisäksi ennuste vuoden 2040 ilmanlaadusta.

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmilla pitoisuuksien muodostumista koko Tampereen kaupungin alueelle. Laajalle alueelle tehdyn leviämismallinnuksen tuloksia voidaan käyttää alueellisten ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa, päästövähennystoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa (tulevaisuuden skenaario), täydentämässä mittauksin saatua tietoa ilmanlaadusta ja sen vaihtelusta, sekä tulevien ilmanlaadun mittausten suunnittelussa ja mittausverkon optimoinnissa.

Leviämismallilaskelmat tehtiin käyttäen Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä päästöjen laskentamalleja ja leviämismalleja: pistemäisten ja pintalähteiden leviämismalli UDM-FMI, liikenteen pakokaasupäästöjen leviämismalli CAR-FMI ja katupölypäästöjen suspensiopäästömalli FORE. Mallilaskelmissa otettiin huomioon päästölähteiden aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuutena Espoon Luukin ja Juupajoen Hyytiälä mittausasemien vuosien 2021–2023 havaintoja. Meteorologinen aineisto on koostettu Ilmatieteen laitoksen Pirkkalan lentoaseman, Tampereen Härmälän ja Siilinkarin, sekä Jokioisten sääasemien vuosien 2019–2021 mittauksista.

Leviämismallin lähtötietoina käytetyt päästöt kattoivat suurimman osan Tampereella syntyvistä typen oksidien, hiukkasten (PM_{10} ja $PM_{2,5}$), mustan hiilen ja bentso(a)pyreenin päästöistä. Ilmatieteen laitos laski autoliikenteen päästöt Tampereen kaupungin ja Väyläviraston tuottamien liikennemäärätietojen perusteella, käyttäen VTT:n LIPASTO:n kaupunkikohtaisia ajoneuvo- ja ajosuoritejakaumia sekä Euroopan ympäristöviraston (EEA) tieliikenteen ajoneuvotyyppikohtaisia EURO-päästöluokasta ja nopeudesta riippuvia päästökertoimia. Autoliikenteen pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt sisältävät autojen pakokaasuista peräisin olevat sekä katupölystä peräisin olevat hiukkaset. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta ja täydennettiin tarvittaessa YLVA-tietokannasta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen 250 m × 250 m -ruuduittaiset päästöt saatiin Suomen ympäristökeskuksen alueellisesta päästöskenaariomallista (FRES-malli).

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje-, raja- ja tavoitearvoilla. Ilmanlaadun ohjearvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa, jolloin pyritään etukäteen välttämään ihmisten altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilman epäpuhtauksien pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohjearvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Esimerkiksi autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa. Tavoitearvon ylittyminen on mahdollisuuksien mukaan pyrittävä välttämään, jotta ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia vähennetään.

Nyt tehtyjen leviämismallilaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että ilmanlaatu Tampereen alueella on pääsääntöisesti hyvää. Ilmanlaatu on erityisen hyvää Tampereen kaupungin harvaan asutuilla esikaupunkialueilla, jotka ovat kauempana keskusta-alueesta ja vilkkaimmista väylistä. Alueen ilmanlaatuun vaikuttavat merkittävimmin autoliikenteen

typenoksidipäästöt, katupöly, kotitalouksien puunpoltto sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Pitoisuudet pienenevät nopeasti etäisyyden kasvaessa vilkkaimmista liikenneväylistä ja tiiviisti rakennetuista asuinalueista. Energiantuotantolaitosten ja teollisuuden päästöjen vaikutus Tampereen ilmanlaatuun on varsin pieni.

Kaikkien tutkimuksessa huomioitujen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhdessä aiheuttamat typpidioksidin kokonaispitoisuudet alittavat ilmanlaadun nykyisen vuosiraja-arvon koko Tampereen alueella. Myös vuorokausiohjearvo alittui lukuunottamatta yksittäisiä pisteitä vilkkaasti liikennöidyillä valtateilla. Vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot puolestaan ylittyisivät nykyisillä päästöillä, mutta vain yksittäisissä pisteissä vilkkaasti liikennöidyillä väylillä. Kauempana vilkkaista teistä pitoisuudet ovat huomattavasti matalampia. Typen oksidien kriittinen taso alittuu vilkkaasti liikennöityjen väylien ulkopuolella. Suurin vaikutus alueen typpidioksidin ja typen oksidien pitoisuustasoihin on autoliikenteen päästöillä. Vuoden 2040 päästöskenaariossa vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot alittuvat mallilaskelmien mukaan niillä alueilla, joilla raja- ja ohjearvot ovat voimassa ja ainoastaan hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvon odotetaan ylittyvän vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä.

Pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat nykytilannetta edustavassa päästötilanteessa selvästi vuosiraja-arvon, mutta ylittävät WHO:n suosituksenomaisen vuorokausiohjearvon yksittäisissä pisteissä vilkkaasti liikennöidyillä väylillä, jossa raja-arvot eivät ole voimassa. Pienhiukkaspitoisuudet ovat suurimmillaan vilkkaimpien liikenneväylien varsilla ja tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Pienhiukkaspitoisuuksien alueellinen vaihtelu on vähäistä, koska suurin osa kokonaispitoisuudesta aiheutuu pääosin kaukokulkeutuneista pienhiukkasista koostuvasta taustapitoisuudesta. Vuoden 2040 päästöillä mallinnetut pienhiukkaspitoisuudet alittavat mallilaskelmien mukaan vuonna 2030 voimaan tulevat uudet vuosi- ja vuorokausiraja-arvot.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin kevään katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittavat mallilaskelmien mukaan nykytilanteessa Tampereella vuosiraja-arvon. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo alittuu lukuunottamatta yksittäisiä pisteitä vilkkaasti liikennöidyillä liikenneväylillä. Vuorokausiohjearvo puolestaan ylittyy vilkkaasti liikennöityjen valtateiden läheisyydessä.

Mallilaskelmien mukaan vuoden 2040 liikennemäärällä uudet, vuonna 2030 voimaan tulevat hengitettävien hiukkasten vuosi- sekä vuorokausiraja-arvot alittuisivat, mutta vuorokausiohjearvo ylittyisi edelleen. Tehokas katujen kunnossapito ja oikea-aikainen puhdistus sekä pölynsidonta ovat tärkeitä, jotta raja-arvotason tai ohjearvojen ylityksiä ei esiintyisi tulevaisuudessa.

Mustan hiilen pitoisuuksiin vaikuttavat nykytilanteessa eniten autoliikenteen päästöt, ja Valtateiden 3 ja 9 varsilla mustan hiilen pitoisuudet nousevatkin yli $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Harvemmin asutuilla alueilla kaukana valtaväylistä ollaan kuitenkin lähellä taustapitoisuuksia. Vuonna 2040 autoliikenteen päästöjen ja mustan hiilen pitoisuuksien ennustetaan laskevan niin, että kiinteistökohtaisten päästöjen suhteellinen merkitys kasvaa. Mustalle hiilelle ei ole tällä hetkellä raja- tai ohjearvoja.

Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ylittävät paikoitellen nykyisen tavoitearvon ja vuonna 2030 voimaan tulevan raja-arvon. Nykyinen tavoitearvo on määritelty $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ tarkkuudella, joten se ylittyy vain muutamilla tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla. Tuleva raja-arvo on kuitenkin määritelty yhden desimaalin tarkkuudella ($1,0 \text{ ng}/\text{m}^3$), joten se ylittyisi mallilaskelmien mukaan merkittävässä osassa mallinnusaluetta. Myös nykyiset arviointikynnykset ja vuonna 2030 voimaan tuleva arviointikynnys ylittyisivät selvästi lähes koko mallinnusalueella. Pääkaupunkiseudulle tehdyn bentso(a)pyreenin mittaus-mallinnus -vertailututkimuksen mukaan bentso(a)pyreenin mallinnustulokset yliarvioivat jonkin verran bentso(a)pyreenin pitoisuuksia. Mallinnustulosten ja muualla Suomen suurimmissa kaupungeissa pientaloalueilla toteutettujen bentso(a)pyreenimittauskampanjoiden tulosten perusteella suositeltavaa olisi toteuttaa Tampereella pientaloalueella, esimerkiksi Nekalassa,

Huikkaalla, Haukiluomassa tai Leinolassa vuoden mittauskampanja bentso(a)pyreenipitoisuuksien arvioimiseksi mittauksin.

Tässä selvityksessä tarkasteltiin eri päästölähteiden vaikutusosuuksia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin Tampereen kaupungin alueella. Autoliikenne vaikuttaa selvästi eniten typpidioksidin pitoisuuksiin. Alueellisen taustapitoisuuden ja kaukokulkeuman lisäksi paikallisista päästölähteistä merkittävimmin pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttavat kiinteistökohtainen lämmitys ja autoliikenteen päästöt. Päästölähteistä kotitalouksien puunpoltto ja autoliikenne aiheuttavat merkittävän lisän pienhiukkaspitoisuuksiin pientaloalueilla ja liikenneväylien vaikutusalueella. Katupöly vaikuttaa eniten hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten päästöt vaikuttavat typpidioksidin ja hiukkasten pitoisuuksiin vain vähän. Kun päästöt vapautuvat korkeista piipuista, ne laimenevat ja leviävät tehokkaasti.

Vuoden 2040 ennusteen mukaan typpidioksidin, pienhiukkasten ja mustan hiilen pitoisuuksissa tullaan havaitsemaan laskua autokannan uusiutuessa ja sähköistyessä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet puolestaan nousevat, koska autoliikenteen määrien ennustetaan kasvavan. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöjen muutoksilla ei ole merkittäviä vaikutuksia ennustettuihin pitoisuuksiin, koska niiden osuus pitoisuuksiin on jo nyt pieni. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöille puolestaan ei ollut saatavilla ennustetta vuodelle 2040.

Mallilaskelmien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat merkittävästi mallin lähtötietoina käytettävien meteorologisten tietojen, taustapitoisuuksien sekä päästötietojen ja muiden lähtötietojen oikeellisuus, kuten liikennemääräarvion luotettavuus, käytettyjen ajoneuvokohtaisten päästökertoimien edustavuus sekä lyhytaikaisten päästövaihteluiden kuvaaminen. Mallinnuksen tulosten luotettavuutta arvioitiin vertaamalla mallinnuksen tuloksia Tampereen neljän ilmanlaadun mittausaseman tuloksiin. Tämä vertailu osoitti mallinnuksen olevan pääsääntöisesti hyvin linjassa mittausten kanssa, ja että mallinnuksen laatutavoitteet täyttyivät pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta.

Ilmatieteen laitos suosittelee edellä mainittujen ilmanlaatumittausten ja mallinnuksien tulokset huomioiden, että Tampereella tehtäisiin ilmanlaatua koskevia selvityksiä määrävälein myös tulevaisuudessa. Suositeltava väli ilmanlaadun leviämismallinnukselle olisi noin viisi vuotta. Tehtyjen ilmanlaatuselvitysten tulosten perusteella voidaan arvioida tulevaa ilmanlaadun seurantatarvetta alueella. Leviämismallilaskelmin ja mittauksin saadut pitoisuustiedot täydentävät toisiaan. Mahdollista bentso(a)pyreenimittauskampanjaa suunniteltaessa on suositeltavaa hyödyntää mallilaskelmien tuloksia edustavan mittauspaikan valinnassa.

OSA II

6 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

6.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilman epäpuhtauksien suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja asuinrakennusten puunpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeutena maamme rajojen ulkopuolelta. Ilman epäpuhtauksien päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan ilmakehän rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmamassojen mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälaskeuma), kuivalaskeutena erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumis suunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskaampana pääse kohoamaan yläpuolelleen olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikenne ruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

6.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös ilmakemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja

teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

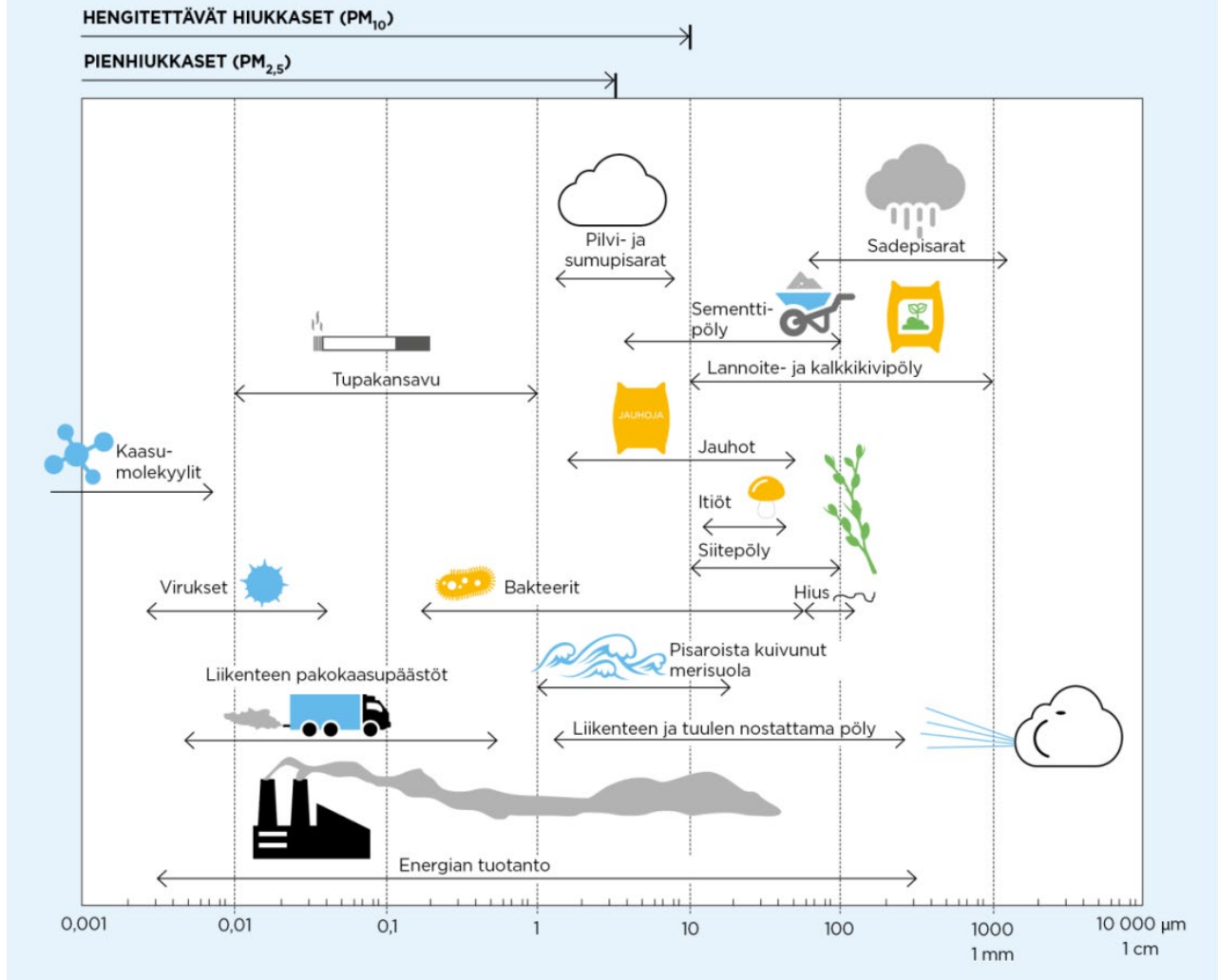
Typpidioksidin voimassa oleva vuosiraja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Viikkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka on vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin $5\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli nykyisen raja-arvotason ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin $1,5\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2024*).

6.3 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa peräisin autojen pakokaasuista, energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista sekä puunpoltosta. Nämä hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Keväisin ja syksyisin hiukkaspitoisuuksia kohottaa katupöly eli epäsuorat hiukkaspäästöt (ns. resuspensio). Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM_{10}) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ($\text{PM}_{2,5}$). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Katupölyä esiintyy myös syksyllä talvirengaskauden alussa, kun tiet ovat vielä lumettomia sekä rakennustyömaiden läheisyydessä. Pienhiukkaset ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmapvirtausten mukana jopa tuhansia kilometrejä. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 31.

Hiukkasten kokoluokkia



Kuva 31. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa ja suurien väylien ympäristössä. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maalis-huhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Nykyinen hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 µg/m³) ylittyy mittausasemilla noin 0–20 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla. Vuonna 2030 voimaan tulevien tiukempien raja-arvojen arvioidaan ylittyvän tulevaisuudessa useammassa paikassa.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka on vuonna 2030 voimaan tuleva raja-arvo. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $2\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2024*).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty nykyinen raja-arvo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin $5\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muilla kaupunkialueilla noin $2\text{--}7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Pohjois-Suomessa noin $1\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Ilmatieteen laitos, 2024*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

6.4 Musta hiili

Musta hiili (BC = Black Carbon) eli noki kuvaa voimakkaasti valoa sitovia pienhiukkasia, joissa on korkea epäorgaanisen hiilen pitoisuus. Mustaa hiiltä vapautuu ilmakehään polttoprosesseissa, joista tärkeimmät ovat autoliikenteen suorat pakokaasupäästöt, puunpoltto tulisijoissa ja kaukokulkeuma. Ajoneuvokannan uudistumisen myötä liikenteestä johtuneet päästöt ovat lähteneet laskuun. Ilmakehässä musta hiili säilyy muutamasta päivästä muutamaa viikkoon.

Altistumisella mustalla hiilellä kuten muillekin pienhiukkasille on negatiivisia vaikutuksia terveyteen. Tällä hetkellä ei ole tarpeeksi kliinisiä tai toksikologisia tutkimuksia, jotta voitaisiin arvioida tarkasti kuinka paljon ja miten mustan hiilen terveysvaikutukset eroavat muiden pienhiukkasten aiheuttamista terveyshaitoista (*WHO, 2012*). Terveysvaikutusten lisäksi mustalla hiilellä on ilmastoa lämmittävä vaikutus toisin kuin tyypillisesti pienhiukkasilla, jotka viilentävät ilmastoa.

Mustan hiilen mittaamiselle ei ole voimassa olevaa standardia mutta terveys- ja ilmastohaittojen vuoksi sen seuraamista suositellaan vuonna 2030 voimaan tulevassa ilmanlaadun direktiivissä supermittausasemalla. Tällä hetkellä mustaa hiiltä mitataan Suomessa jatkuvatoimisesti pääkaupunkiseudulla (Helsingin seudun ympäristöpalvelu, HSY) sekä muutamilla asemilla Ilmatieteen laitoksen ja Helsingin yliopiston toimesta.

Pääkaupunkiseudulla korkeimmat mustahiilipitoisuudet mitataan vilkasliikenteisillä- ja pientaloalueilla. Ajoneuvokannan uusiutumisen myötä mustan hiilen pitoisuudet ovat laskeneet pitkällä aikavälillä erityisesti vilkasliikenteisissä ympäristöissä. Vuonna 2024 mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuudet vaihtelivat $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Luukin tausta-asema) ja $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mäkelänkadun ja Tikkurilan liikenneasema, Tapanilan pientaloalue) välillä. Pitoisuudet ovat korkeammat talvella kuin kesällä. Korkeimmat keskimääräiset tuntikeskiarvot vaihtelivat $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Luukin tausta-asema) ja $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tapanilan ja Lintuvaaran pientaloalue) välillä. Paikallisten päästöjen suuri merkitys näkyy selvästi pitoisuuksien vaihtelussa eri vuorokaudenaikoina. Pitoisuudet kohoavat arkiaamuina liikennealueilla, kun taas pientaloalueilla korkeimmat pitoisuudet mitataan yleensä viikonloppuina. Mustan hiilen osuus pienhiukkasten massasta vaihteli 5 % (Luukin tausta-asema) ja 9 % (Tikkurilan liikenneasema) välillä vuonna 2024 (*Korhonen ym., 2025*).

6.5 Bentso(a)pyreeni

Bentso(a)pyreeni kuuluu polysyklisiin aromaattisiin hiilivetyihin eli PAH-yhdisteisiin. PAH-yhdisteet ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka muodostuvat vähintään kahdesta toisiinsa yhdistyneestä kokonaan hiilestä ja vedystä koostuvasta aromaattisesta renkaasta. PAH-yhdisteitä muodostuu palamispro-

sesseissa orgaanisen aineksen epätäydellisen palamisen seurauksena. PAH-yhdisteitä syntyy siten energiantuotannossa, liikenteessä (dieselmoottorit), asuinrakennusten puunpoltossa, kulutuksessa, jätteenpoltossa, öljynjalostuksessa, alumiinin tuotannossa sekä koksen valmistuksessa. Liikenne on merkittävin ilmanlaatuun vaikuttava PAH-yhdisteiden lähde kaupunkien keskustoissa ja vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla matalasta päästökorkeudesta johtuen. Pientaloalueilla asuinrakennusten puunpoltto on merkittävin PAH-päästöjen lähde. Arkielämässä merkittävimpiä PAH-yhdisteiden lähteitä ovat muun muassa pakokaasut, tupakansavu, noki sekä ruoanvalmistus paahtamalla ja grillaamalla. Luonnollisia lähteitä ovat metsäpalot ja tulivuoren purkaukset.

PAH-yhdisteiden fysikaalis-kemialliset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti, mutta osa PAH-yhdisteistä on helposti haihtuvia. Ne vapautuvat ilmaan ja kulkeutuvat ilmakehässä pitkiä matkoja. PAH-yhdisteet esiintyvät joko kaasumaisessa olomuodossa tai sitoutuneina ilmassa oleviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet, jotka sisältävät viisi rengasta tai enemmän havaitaan lähinnä hiukkasiin sitoutuneina kun taas 2–3 rengasta sisältävät ovat lähes ainoastaan kaasumaisessa olomuodossa. Vaihtelevuudet olomuodossa liittyvät pääasiassa 4 rengasta sisältäviin PAH-yhdisteisiin, kuten fluoranteeniin, pyreeniin, bentso(a)antraseeniin ja kryseeniin (*European Commission, 2001*). Bentso(a)pyreeni on viisirenkainen hiilivety, joka kiinnittyy palamisessa syntyviin pienhiukkasiin. PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisiä ja ulkoilman PAH-yhdisteet lisäävät erityisesti keuhkosityöpään sairastumisen riskiä. PAH-yhdisteiden aiheuttaman syöpäriskin merkkiaineena käytetään bentso(a)pyreeniä.

Bentso(a)pyreenin pitoisuudet ja vuodenaikaisvaihtelu kuvaavat hyvin muidenkin PAH-yhdisteiden ominaisuuksia. Talvella PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat suurempia kuin kesällä, koska mm. energiantuotannon ja puunpolton takia PAH-yhdisteiden päästöt ovat talvikaudella suuremmat. Toisin kuin monet muun ilmansaasteen päästöt, bentso(a)pyreenin päästöt ilmaan ovat kasvaneet Euroopassa viime vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi lisääntyneestä biomassan poltosta. Noin 13 % Euroopan kaupunkien väestöstä altistui EU:n nykyisen tavoitearvon 1 ng/m³ ylittävälle bentso(a)pyreenipitoisuuksille (*EEA, 2024*). Vuonna 2030 voimaan tulevan uuden direktiivin myötä nykyinen tavoitearvo muuttuu raja-arvoksi.

Suomessa bentso(a)pyreeni on tyypillisesti sellaisten pientaloalueiden ongelma, joissa poltetaan paljon puuta. Korkeita pitoisuuksia esiintyy erityisesti talvisin. Tavoitearvoa 1 ng/m³ hipovia ja jopa sen ylittäviä vuosipitoisuustasoja on mitattu paljon pientaloalueilla sekä Raahessa terästeollisuuslaitoksen tuntumassa. Vuonna 2023 tavoitearvo ylittyi Raahessa ja Helsingin pientaloalueella sijaitsevassa mittauspisteessä (*Ilmatieteen laitos, 2024*).

6.6 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

Ilmansaasteiden terveyshaitat ovat seurausta altistumisesta ulkoilmassa oleville haitallisille aineille. Altistuminen on sitä suurempaa mitä korkeampia hengitysilman pitoisuudet ovat ja mitä kauemmin ihminen hengittää saastunutta ilmaa. Pitkäaikainen altistuminen ilmansaasteille on terveysvaikutusten kannalta haitallisempaa kuin lyhytaikainen altistuminen.

Ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin 1 600 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja pienemmältä osin hengitettävistä hiukkasista sekä typpidioksidista. Yksilöiden herkkyys ilmansaasteille vaihtelee. Herkkiä väestöryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatikoit, ikääntyneet sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat sekä lapset. Talvisin pakkasen voi pahentaa ilmansaasteista aiheutuvia oireita.

Tieteellinen näyttö pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on erittäin laaja. Hiukkaset kulkeutuvat ilman mukana kaikkiin osiin hengitysteitä, jolloin ne aiheuttavat sekä suoria vaikutuksia keuhkoissa että siirtyvät osin verenkiertoon ja edelleen kehon muihin osiin kuten sydänlihakseen ja aivoihin. Hiukkaset lisäävät sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia ja lisäävät kuolleisuutta. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

6.7 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin, kriittisiin tasoihin ja tavoitearvoihin. EU-maissa voimassa olevat raja-arvot (*Vna 79/2017*) ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa esimerkiksi teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Raja-arvot tulevat kiristymään vuonna 2030, jolloin uusi raja-arvot määrittävä direktiivi tulee voimaan (*EU direktiivi 2024/2881*). Voimassa olevat ja vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot on esitetty taulukossa 12. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan on tiedotettava väestöä ja tehtävä ohjelmia ja suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta.

Taulukko 12. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut voimassa olevat raja-arvot (*Vna 79/2017*) ja vuonna 2030 voimaan tulevat raja-arvot (*EU direktiivi 2024/2881*).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo (nykyinen) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2030 raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Typpidioksidi (NO_2)	kalenterivuosi	40	20	–
Typpidioksidi (NO_2)	vuorokausi	-	50	18
Typpidioksidi (NO_2)	1 tunti	200*	200**	*18 **4
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25	10	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	vuorokausi	-	25	18
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	vuorokausi	50*	45**	*35 **18
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	kalenterivuosi	40*	20	
Bentso(a)pyreeni	kalenterivuosi	-	1,0 ng/m^3	–

Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996*) eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi kaupunkisuunnittelun tukena ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen. Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman

typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Ulkoilman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*Vnp 480/1996*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	150	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Taulukossa 14 esitetään Maailman terveysjärjestön (WHO) suosituksenomaiset ohjearvot typpidioksidille, hengitettäville hiukkasille ja pienhiukkasille (WHO, 2021). WHO ohjearvoilla ei ole lainvoimaisuutta Suomessa.

Taulukko 14. Ulkoilman typpidioksidin, hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (*WHO, 2021*).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	200	Tuntikeskiarvo
	25	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
	10	Vuoden keskiarvo
	40	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	45	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
	15	Vuoden keskiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	15	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3–4 ylitystä vuodessa)
	5	Vuoden keskiarvo

Typenoksidipitoisuuksien kriittisen tason ylittyessä pitoisuudet saattavat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia kasvillisuudelle tai ekosysteemeille. Kriittisiä tasoja sovelletaan rakennetun ympäristön ulkopuolella olevilla laajoilla maa- ja metsätalousalueilla sekä luonnonsuojelun kannalta merkityksellisillä alueilla (Taulukko 15).

Taulukko 15. Ulkoilman typen oksidien pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun kriittiset tasot (*Vna 79/2017*).

Ilman epäpuhtaus	Kriittinen taso $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typen oksidit (NO_x)	30	Vuosikeskiarvo

Tavoitearvolla tarkoitetaan ilmassa olevaa pitoisuutta, joka on mahdollisuuksien mukaan alitettava määräajassa ja jolla pyritään välttämään, ehkäisemään tai vähentämään ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Pitoisuuksien alittaessa säädetyn tavoitearvon, pitoisuudet on pyrittävä pitämään tavoitearvojen alapuolella ja mahdollisuuksien mukaan estämään pitoisuuksien nouseminen. Tavoitearvon ylittyminen on pyrittävä estämään käyttämällä parasta käyttökelpoista tekniikkaa ja noudattamalla ympäristön kannalta parhaan käytännön periaatetta (Vna 113/2017). Bentso(a)pyreenin ulkoilmapitoisuuksia koskevat ilmanlaadun tavoitearvot sekä pitoisuuksien seurantaan liittyvät ylemmät ja alemmat arviointikynnykset on esitetty taulukossa 16.

Ylemmällä arviointikynnyksellä tarkoitetaan sellaista ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota korkeammissa pitoisuuksissa jatkuvat mittaukset ovat ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä seuranta-alueella. Tätä alemmissa pitoisuuksissa jatkuvien mittausten tarve on vähäisempi ja ilmanlaadun arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamisteekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää. Alemmalla arviointikynnyksellä tarkoitetaan ilman epäpuhtauden pitoisuutta, jota alemmissa pitoisuuksissa ilmanlaadun arvioimiseksi riittää, että seuranta-alueella käytetään yksinomaan mallintamista tai muita menetelmiä kuten päästökartoituksia. Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnyksen katsotaan ylittyneen, kun se on ylittynyt vähintään kolmena vuotena viidestä.

Taulukko 16. Bentso(a)pyreenin tavoitearvot ja arviointikynnykset pitoisuuksien vuosikeskiarvoille (Vna 113/2017).

Yhdiste	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo *) ng/m ³	Alempi arviointikynnys ng/m ³	Ylempi arviointikynnys ng/m ³
Bentso(a)pyreeni	kalenterivuosi	1	0,4	0,6

*) Pitoisuus määritetään hengitettävien hiukkasten massapitoisuudesta kalenterivuoden keskiarvona. Tulokset ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

7.1 Mallilaskelmissa huomioidut päästöt

7.1.1 Tampereen kokonaispäästöt

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin Tampereen nykytilanteen (2021) autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt sekä vuoden 2040 ennustetut autoliikenteen, teollisuuden ja energiantuotannon päästöt. Tampereen kokonaispäästöt on esitetty kuvissa 32–36 ja taulukoissa 17–18. Leviämismallinnuksessa huomioitiin myös naapurikuntien kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjä, jota eivät sisälly näihin lukuihin.

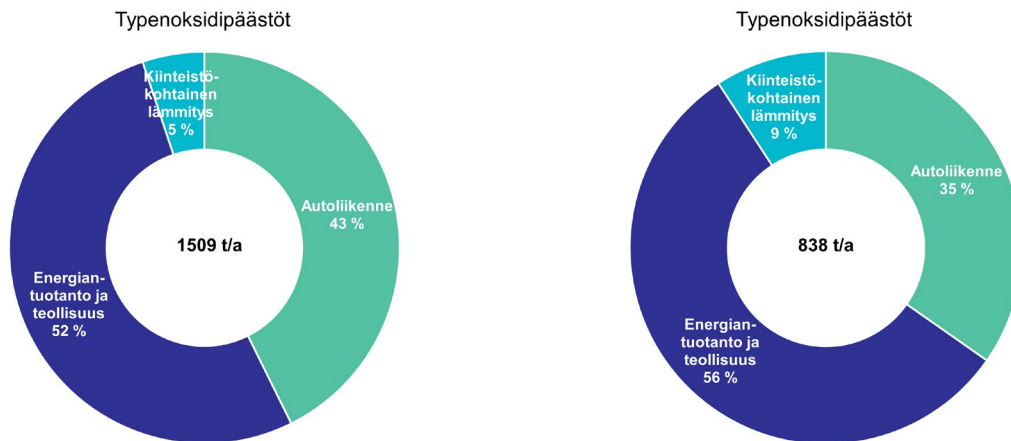
Taulukko 17. Tampereen kokonaispäästöt nykytilanteessa.

Päästölähde	NOx (t/a)	PM2,5 (t/a)	PM10 (t/a)	BaP (kg/a)	BC (t/a)
Autoliikenne	644	14	240	-	11
Energian-tuotanto ja teollisuus	788	7	7	-	-
Kiinteistö-kohtainen lämmitys	77	75	78	98	24
Yhteensä	1509	96	325	98	35

Taulukko 18. Tampereen kokonaispäästöt vuonna 2040.

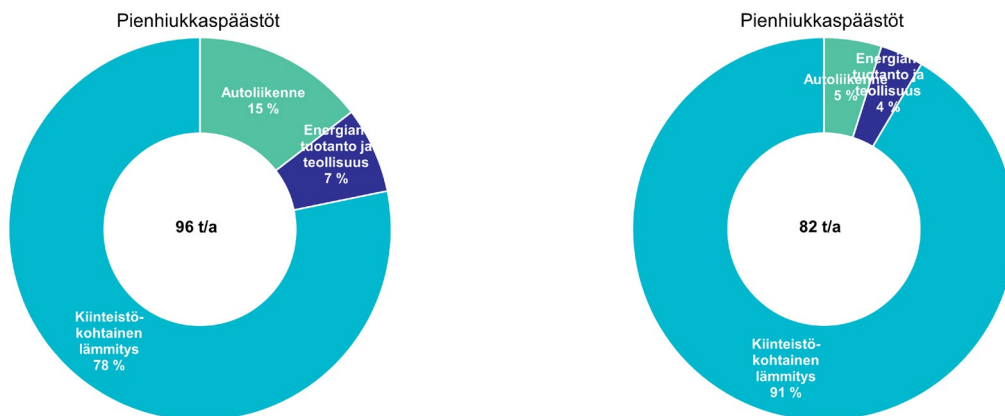
Päästölähde	NOx (t/a)	PM2,5 (t/a)	PM10 (t/a)	BaP (kg/a)	BC (t/a)
Autoliikenne	291	4	296	-	2
Energian-tuotanto ja teollisuus	470	3	3	-	-
Kiinteistö-kohtainen lämmitys	77	75	78	98	24
Yhteensä	838	82	377	98	26

Nykytilanteessa (2021) typen oksidien kokonaispäästöt ovat noin 1500 t/v, joista 52 % tulee energiantuotannosta ja teollisuudesta ja 43 % autoliikenteestä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus typen oksidien kokonaispäästöistä on 5 %. Autoliikenteen päästökehityksen ja teollisuuden odotettujen muutosten myötä kokonaispäästöjen ennustetaan lähes puolittuvan, ollen noin 840 t/v vuonna 2040. Autoliikenteen päästöjen osuus laskisi ja olisi 35 % kokonaispäästöistä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen odotetaan pysyvän ennallaan, jolloin niiden osuus kokonaispäästöistä kasvaa, ollen 9 %. Energiantuotannon ja teollisuuden osuus 2040 kokonaispäästöistä olisi 56 %.



Kuva 32. Tampereen typen oksidien kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet nykytilanteessa (vasen) ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 (oikea).

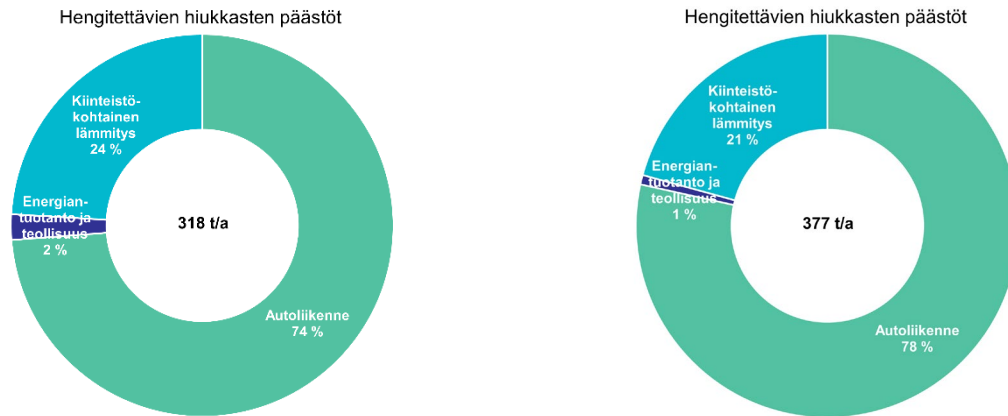
Pienhiukkasten kokonaispäästö nykytilanteessa on 96 t/v, joista merkittävä osa, 78 % aiheutuu kiinteistökohtaisesta lämmityksestä. Autoliikenteen osuus on 15 % kokonaispäästöistä ja energiantuotannon ja teollisuuden 7 %. Autoliikenteen päästömäärässä on huomioitu suoraan moottoreiden pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset ja katupölyn sisältämät pienhiukkaset. Autoliikenteen päästökehityksen ja teollisuuden suunniteltujen muutosten myötä pienhiukkaspäästöjen odotetaan laskevan tulevaisuudessa, ollen yhteensä 82 t/v vuonna 2040. Valtaosa (91 %) päästöistä aiheutuisi kiinteistökohtaisesta lämmityksestä, joilloin autoliikenteen sekä energiantuotannon ja teollisuuden osuus olisivat noin 5 % kokonaispäästöistä.



Kuva 33. Tampereen pienhiukkasten ja eri päästölähteiden osuudet nykytilanteessa (vuonna 2021, vasen) ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 (oikea).

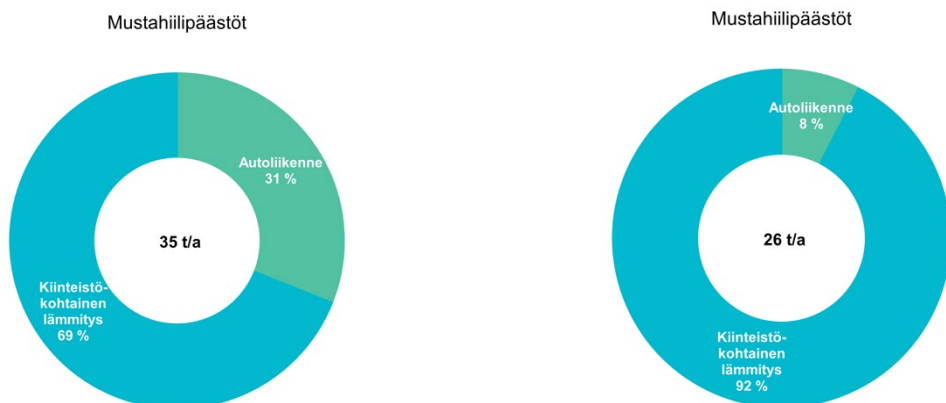
Nykytilanteessa hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt ovat 318 t/v, joista 75 % on peräisin autoliikenteen päästöistä. Päästöissä on huomioitu pakokaasusta peräisin olevat pienhiukkaset sekä katupölyn sisältämät PM₁₀-hiukkaset, jotka on laskettu erillisellä suspensiopäästömallilla (ks. kpl 8.4). Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus PM₁₀-hiukkaspäästöistä on 25 %. Energiantuotannon ja teollisuuden (2 %) päästöt on otettu huomioon pienhiukkasina, koska niiden

tarkemmasta kokojakaumasta ei ole olemassa tietoa. Liikennemäärän ennustetun kasvun myötä hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöjen oletetaan kasvavan, ollen 377 t/v vuonna 2040. Tästä 78 % aiheutuu autoliikenteestä. Kiinteistökohtaisen lämmityksen osuus hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöistä on 21 % ja teollisuuden 1 %.

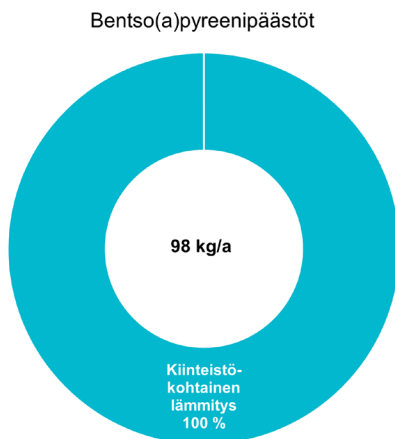


Kuva 34. Tampereen hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet nykytilanteessa vuonna 2021 (vasen) ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 (oikea).

Mustan hiilen kokonaispäästöt nykytilanteessa ovat 35 t/v, joista lähes 70 % aiheutuu kiinteistökohtaisesta lämmityksestä ja loput autoliikenteestä. Autoliikenteen päästökehityksen myötä kokonaispäästöt laskevat vuoteen 2040, ollen 26 t/a. Kokonaispäästöistä autoliikenteen olisi alle 10 % ja siten kiinteistökohtainen lämmitys aiheuttaisi yli 90 % päästöistä. Bentso(a)pyreenin osalta leviämismallinnuksessa huomioitiin vain kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat nykytilanteen (2019) päästöt, jotka olivat 98 kg/v.



Kuva 35. Tampereen mustan hiilen kokonaispäästöt sekä eri päästölähteiden osuudet nykytilanteessa vuonna 2021 (vasen) ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 (oikea).



Kuva 36. Tampereen bentso(a)pyreenin kokonaispäästöt nykytilanteessa.

7.1.2 Autoliikenteen päästöt

Leviämismallilaskelmilla tarkasteltiin autoliikenteen päästöjä nykytilanteessa ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040. Nykytilannetta edustivat Tampereen kaupungin liikennelaskentojen tulokset vuodelta 2021. Vuoden 2040 liikenne-ennusteena käytettiin Tampereen Seudun liikennemalliin (TALLI) pohjautuvia tietoja. TALLI-mallissa on kuvattu Tampereen seudun rakennesuunnitelman ja Tampereen yleiskaavan maankäyttöennusteiden mukaisesti maankäyttö- ja liikenne-ennuste vuodelle 2040. Vuoden 2040 liikenneverkkoon on mallinnettu nykynäkemyksen mukaan ko. vuoteen mennessä toteutetut liikennehankkeet. Yleisten teiden osalta käytettiin Väyläviraston aineistoa nykytilanteen liikennemäärästä. Vuoden 2040 päästötilanteeseen käytettiin Traficom:n tekemää ennustetta liikenteen kehityksestä vuodelle 2030 (*Moilanen yms, 2024*), jonka perusteella henkilöautojen osuus kasvaa noin 30 % ja raskaan liikenteen määrä 15 %.

Molemmat aineistot sisälsivät keskimääräisten vuorokausiliikennemäärän (KVL), ajonopeuden ja raskaan liikenteen osuuden. Suurimmat keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät nykytilanteessa ovat Hervannanväylällä, Kehätiellä, sekä Valtatie 3 ja 9 ollen suurimmillaan noin 40 000. Myös raskaan liikenteen osuus oli suurimmillaan näillä väylillä (10-20 %). Keskusta-alueella keskimääräinen vuorokausiliikenne oli enimmillään Tampereen valtatiellä ollen noin 36 000.

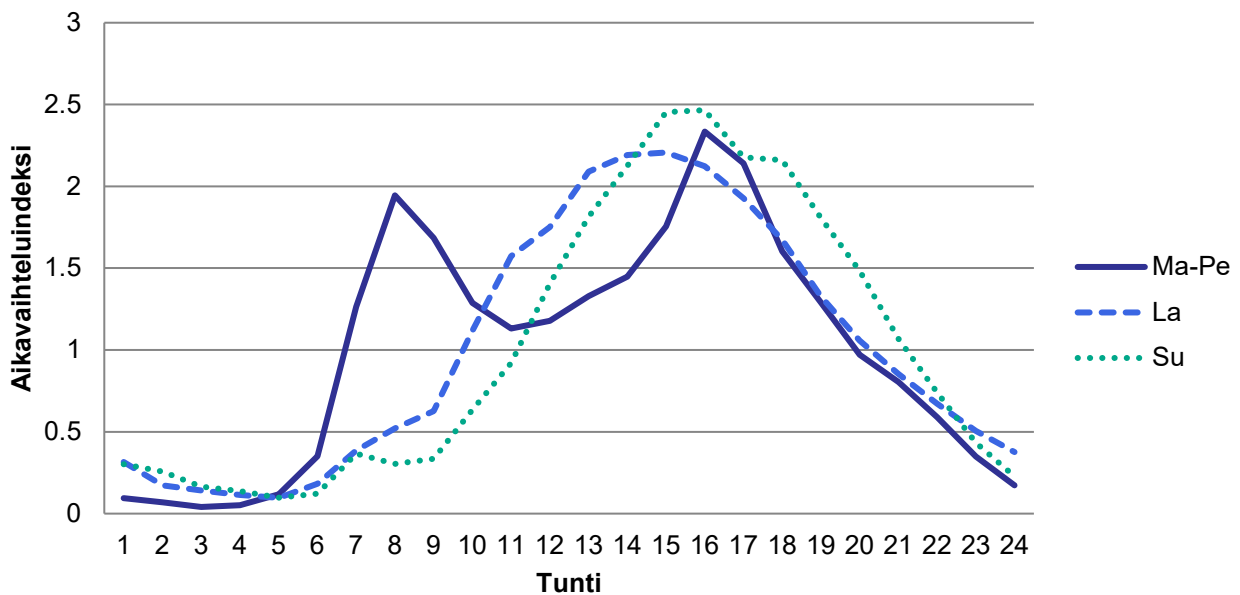
Koko tutkimusalueen autoliikenteen typen oksidien, hiukkasten ja mustan hiilen päästöt laskettiin ja mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväyliä kuvattiin leviämismallilaskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Mallilaskelmissa huomioitiin yhteensä yli 10 500 viivalähdettä Tampereelta ja sen lähiympäristöstä.

Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten vuorokausiliikennemäärien (KVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen osuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella. Päästöjen viikonpäivittäisten ja tunneittaisten aikavaihtelujen kuvaamisessa käytettiin liikenteen automaattisen mittauspisteen (LAM) liikennelaskenta-aineistoja. Liikenteen aikavaihtelussa hyödynnettiin Tampereen Onkiniemessä, Valtatie 12 sijaitsevaa mittauspistettä (LAM 452, Kuva 37).

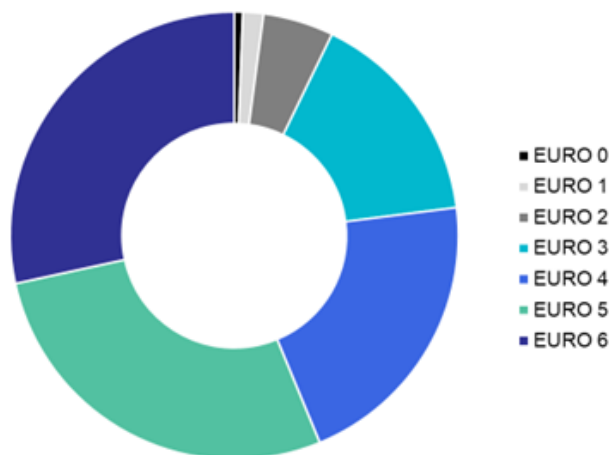
Autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (European Environmental Agency, EEA) määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (EEA, 2017). Nämä

päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoriteknologiasta, EURO-päästöluokista sekä ajonopeudesta. Kertoimet on määritetty yksityiskohtaisesti eri ajoneuvotyypeille, niiden katu- ja maantieajolle tasaisella nopeudella ja ruuhka-aikaan suoritettavalle ajolle. Näistä kertoimista on tätä työtä varten keskiarvoistettu Suomen ajoneuvokantaa edustavat kertoimet.

Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokittaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa (VTT, 2021). Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot koko Suomen autokannan EURO-päästöluokkaisille ajosuoriteosuuksille (Kuva 38). Luokittelu kertoo, miten paljon Suomessa vuodessa ajetaan kuhunkin eri päästöluokkaan kuuluvilla ajoneuvoilla.

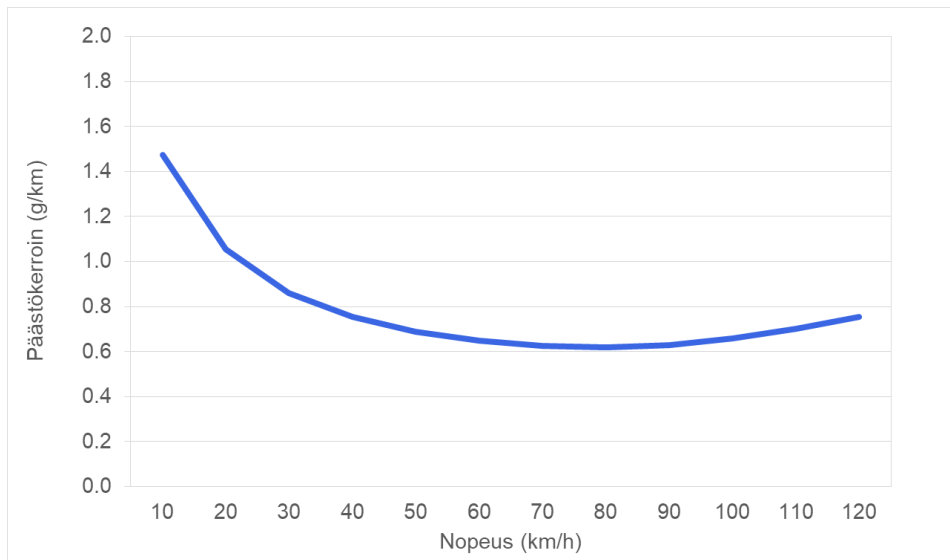


Kuva 37. Mallilaskelmissa käytetyt liikenteen tunneittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit LAMPisteessä 452 Vt12 Tampereen Onkiniemi.

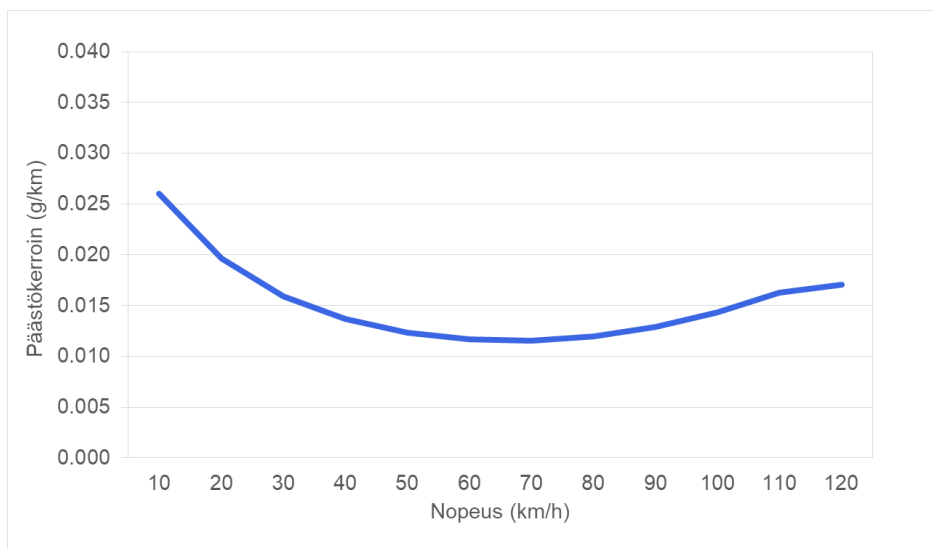


Kuva 38. ALIISA-autokantamallin kaikkien ajoneuvojen EURO-päästöluokittaiset suoritajakaumat Suomessa vuonna 2020 (VTT, 2021).

Ajoneuvojen jakaumana käytettiin Suomen vuoden 2020 ajoneuvojen EURO-päästöluokittaisia ajosuoriteosuuksia VTT:n liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti. Kuvissa 39 ja 40 on esitetty päästölaskennassa käytetyt Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset pakokaasujen typen oksidien ja pienhiukkasten päästökertoimet vuodelle 2020. Päästökertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Leviämis-mallilaskelmissa päästökertoimet on kohdennettu Tampereella ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti (taulukko 19).



Kuva 39. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typen oksidien (NO_x) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2020 (VTT, 2021).



Kuva 40. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden EURO-päästöluokajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2020 (VTT, 2021).

Taulukko 19. Tampereen ajoneuvotyyppien jakauma vuonna 2016 (VTT/LIISA).

Kunta	Henkilöautot	Pakettiautot	Linja-autot	Kuorma-autot ilman perävaunua	Perävaunulliset kuorma-autot
Tampere	73,3 %	18,0 %	3,3 %	4,3 %	1,1 %

Taulukossa 20 on esitetty Tampereen ja lähiympäristön autoliikenteen typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja mustan hiilen kokonaispäästöt vuonna 2021. Autoliikenteen kehityksen myötä typen oksidien, pienhiukkasten ja mustan hiilen päästöjen oletetaan laskevan vuonna 2040. Leviämismallilaskelmissa oletettiin autoliikenteen typenoksidipäästöistä (NO_x) olevan keskimäärin 20 % typpidioksidia (NO₂) ennen ulkoilmassa tapahtuvaa kemiallista muutuntaa (*Anttila, ym., 2011*). Sen sijaan hengitettävien hiukkasten päästöt nousevat liikennemäärän kasvun vuoksi. Suspensiopäästöjen laskelmissa arvioitiin, että nastarenkaiden osuus on 80 % kaikista käytössä olevista talvirenkaista. Suspensiopäästöjen määrä vaihteli vuosittain sääolosuhteiden. Taulukossa on esitetty kolmen tarkasteluvuoden PM₁₀-kokonaispäästöjen keskiarvo. Päästölaskennan pohjana käytetyt vuoden 2021 ja 2040 keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät sekä päästöt viivalahteittain koko mallinnusalueella on esitetty liitekuvin Liitekuvin 53–56.

Taulukko 20. Tampereen seudun autoliikenteen kokonaispäästöt (t/a) vuonna 2021 ja 2040.

Autoliikenteen kokonaispäästöt (t/a)	2021	2040
NO _x	644	291
PM _{2,5}	14	4
PM ₁₀	240	296
BC	11	2

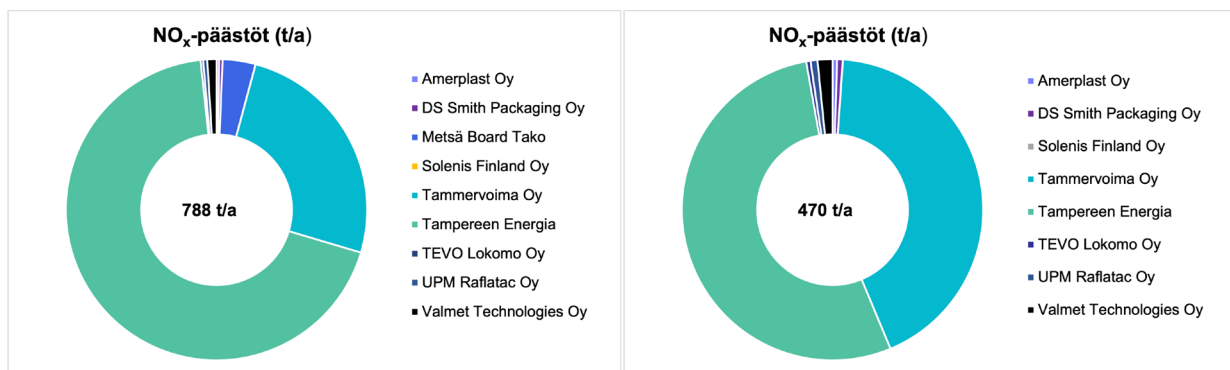
7.1.3 Energiantuotannon ja teollisuuden päästöt

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin Tampereen seudun merkittävimmät energiantuotannon ja teollisuuden päästöt nykytilanteessa ja ennustetussa, vuoden 2040 tilanteessa. Nykytilanteen päästöt ovat pääosin vuoden 2021 mukaiset päästöt, pl. Tampereen Energian Naistenlahden voimalaitos (2023) ja Amerplast Oy, Metsä Board Tako sekä Tevo Lokomo Oy (2024). Päästöt ja muut tekniset tiedot pyydettiin suoraan toiminnanharjoittajilta ja tarvittaessa puuttuvat tiedot täydennettiin arvioilla. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen

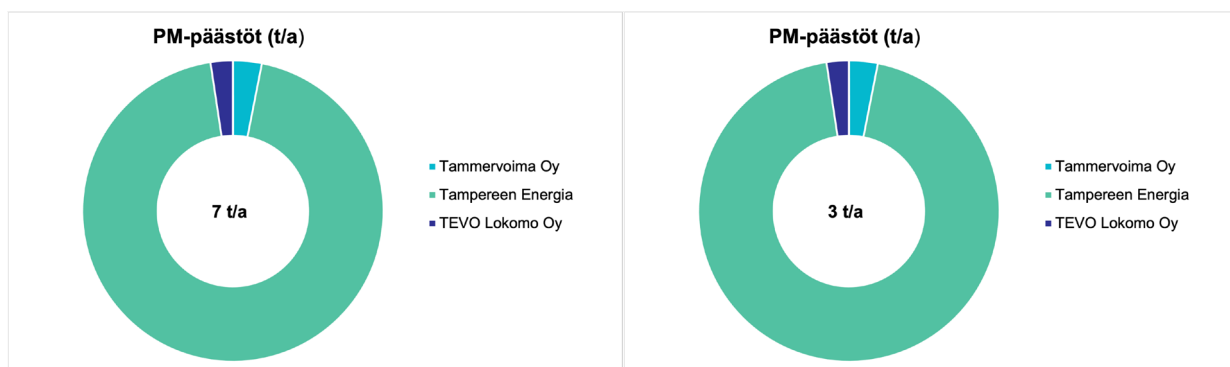
aiheuttamat pienhiukkaspitoisuudet on mallilaskelmissa otettu mukaan myös hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) kokonaispitoisuuksiin.

Laskelmissa huomioitiin energiantuotannon ja teollisuuden laitoksista Amerplast Oy, DS Smith Packaging Oy, Metsä Board Tako, Solenis Finland Oy, Tammervoima Oy, Tampereen Energia, Tevo Lokomo Oy, UPM Raflatac Oy ja Valmet Technologies Oy. Energiantuotannon päästöt ovat talvella suuremmat kuin kesäaikaan. Eniten päästöjä syntyy kovilla pakkasilla, kun sähkön ja lämmön suuren kulutuksen vuoksi käyttöön otetaan erillisiä huippu- tai varalämpökeskuksia. Voimalaitokset ovat pääsääntöisesti käynnissä jatkuvatoimisesti ympäri vuoden. Pienempiä lämpökeskuksia käytetään yleensä sähkön ja lämmön kulutushuippujen aikana sekä isojen laitosten huoltoseisokkien aikana.

Energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten nykytilanteen (2021) typenoksidipäästöt olivat 788 t/a ja hiukkaspäästöt 7 t/a (taulukko 21, kuvat 41 ja 42). Alueen merkittävimmät päästölähteet ovat Tammervoima Oy:n polttolaitos ja Tampereen Energian Hervannan hakelämpökeskus, Naistenlahden voimalaitos sekä Sarankulman lämpökeskus K2 (hiukkaspäästöjen osalta). Kokonaispäästöjen arviolta noin puolittuvat vuoteen 2040 mennessä energiantuotannon ja teollisuuden suunniteltujen muutosten myötä, jolloin suurin osa laitoksista ei tuottaisi ollenkaan päästöjä. Siten vuonna 2040 typenoksidipäästöt ovat 470 t/a ja hiukkaspäästöt 3 t/a.



Kuva 41. Tampereen seudun energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typen oksidien kokonaispäästöt sekä eri toimijoiden osuudet nykytilanteessa (vasen) ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 (oikea).



Kuva 42. Tampereen seudun energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten hiukkasten kokonaispäästöt sekä eri toimijoiden osuudet nykytilanteessa (vasen) ja ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 (oikea).

Taulukko 21. Tampereen seudun energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten typenoksi- ja hiukkaspäästöt vuonna 2021 (osalla laitoksista vuoden 2023 tai 2024 päästöt) sekä arvioidut päästöt vuonna 2040. Leviämismallilaskelmissa kaikki energiantuotannon ja teollisuuden hiukkaspäästöt on oletettu pienhiukkasiksi niiden todellisesta koosta riippumatta, koska laitosten hiukkaskokojakaumasta ei ollut tarkempaa tietoa.

Laitos	Piipun korkeus (m)	NO _x (t/a) 2021	NO _x (t/a) 2040	PM (t/a) 2021	PM (t/a) 2040
Amerplast Oy, VOC polttolaitos	11	2,30	2,30	0	0
DS Smith Packaging Oy	29,5	2,80	2,80	0	0
Metsä Board Tako	80	27,80	-	0	-
Solenis Finland Oy	20	0,09	0,09	0	0
Tammervoima Oy, hyötyvoimalaitos	75	200,34	200,34	0,21	0,21
Tampereen Energia, Naistenlahden lämpökeskus	50	10,24	-	0,09	-
Tampereen Energia, Lielähti LLT1	65	42,28	-	0	-
Tampereen Energia, Lielähti LLT2	65	38,87	-	0	-
Tampereen Energia, Hakametsä	70	12,02	0,45	0,04	0,001
Tampereen Energia, Hervanta öljy	50	5,02	-	0,03	-
Tampereen Energia, Hervanta hakelämpökeskus	75	185,60	48,99	1,70	0,14
Tampereen Energia, Naistenlahden voimalaitos	90	175,72	186,52	0,63	0,67
Tampereen Energia, Nekala	70	13,52	0,50	0	0
Tampereen Energia, Rahola	50	6,60	0,30	0	0
Tampereen Energia, Ratina	50	4,60	0,60	0,02	0
Tampereen Energia, Sarankulma K1	25	3,24	-	0	-
Tampereen Energia, Sarankulma K2	40	43,82	14,10	3,81	1,41
Tevo Lokomo Oy, putsaamo	15	0,04	0,04	0	0
Tevo Lokomo Oy, sulatto	20	0,02	0,02	0	0
Tevo Lokomo Oy, raskas kaavaus	15	2,10	2,10	0,15	0,15
Tevo Lokomo Oy, hiekkasiilot	15	0,01	0,01	0	0
UPM Raflatac Oy	21	3,50	3,50	0	0
Valmet Technologies Oy, koelaitos	45	0,24	0,24	0	0
Valmet Technologies Oy, Yrittäjänkatu	30	7,50	7,28	0	0
Kokonaispäästöt		788	470	7	3

Leviämismallilaskelmissa tarvittavat energiantuotannon päästölähteiden sijainnit ja laitosten tekniset tiedot sekä päästömäärät, käyttöajat ja muut päästöjen ajallisen vaihtelun kuvaamisessa tarvittavat tiedot huomioitiin mahdollisimman tarkasti toiminnanharjoittajien ilmoittaman mukaisina. Jokaiselle laitokselle ja kullekin tarkastellulle epäpuhtauskomponentille muodostettiin koko kolmen vuoden laskentajakson kattaneet tunneittaiset päästöaikasarjat. Nämä aikasarjat muodostettiin laitosten todellisten päästö-, savukaasu- ja käyntituntimäärien perusteella. Jos toiminnanharjoittajalta ei saatu muuta tietoa päästöjen hetkellisestä lyhytaikaisvaihtelusta, kuvattiin päästövaihtelua aikasarjassa tunneittaisena ± 20 % satunnaisvaihteluna. Lämpökeskusten oletettiin toimivan käyntituntimääriensä mukaisesti vain vuoden kylmimpinä tunteina.

7.1.4 Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt

Leviämismallinnuksessa käytetyt kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt saatiin Suomen ympäristökeskukselta (SYKE). Päästöt on laskettu alueellisella päästöskenaariomallilla (FRES-malli) 250 m × 250 m ruuduissa Tampereen leviämismallinnusalueelta (*Savolahti, ym. 2019*). Leviämismallinnuksen reunavaikutuksen minimoimiseksi mallilaskelmissa huomioitiin kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjä Tamperetta laajemmalla alueella ympäröivien kuntien alueilta.

FRES-päästöskenaariomallissa arvio eri polttolaitteiden suhteellisista määristä ja puun käytöstä erityyppisissä pientaloissa perustuu koko maan kattaviin kyselyihin, joita on verrattu paikallisempiin kyselyihin. Käyttömääriin vaikuttaa myös kaupungistumisaste ja ulkoilman keskilämpötilaan perustuva lämmitystarve muilla lämmityslähteillä kuin kiukailla. Näiden perusteella päästöt jaetaan rakennus- ja huoneistorekisterin (RHR) vuoden 2021 pientalokannalle koko Suomeen. Päästöaineistossa pienpolton hengitettävien hiukkasten päästöistä noin 80 % on alle 2,5 µm kokoluokkaa ja noin 20 % karkeampaa 2,5–10 µm kokoluokkaa.

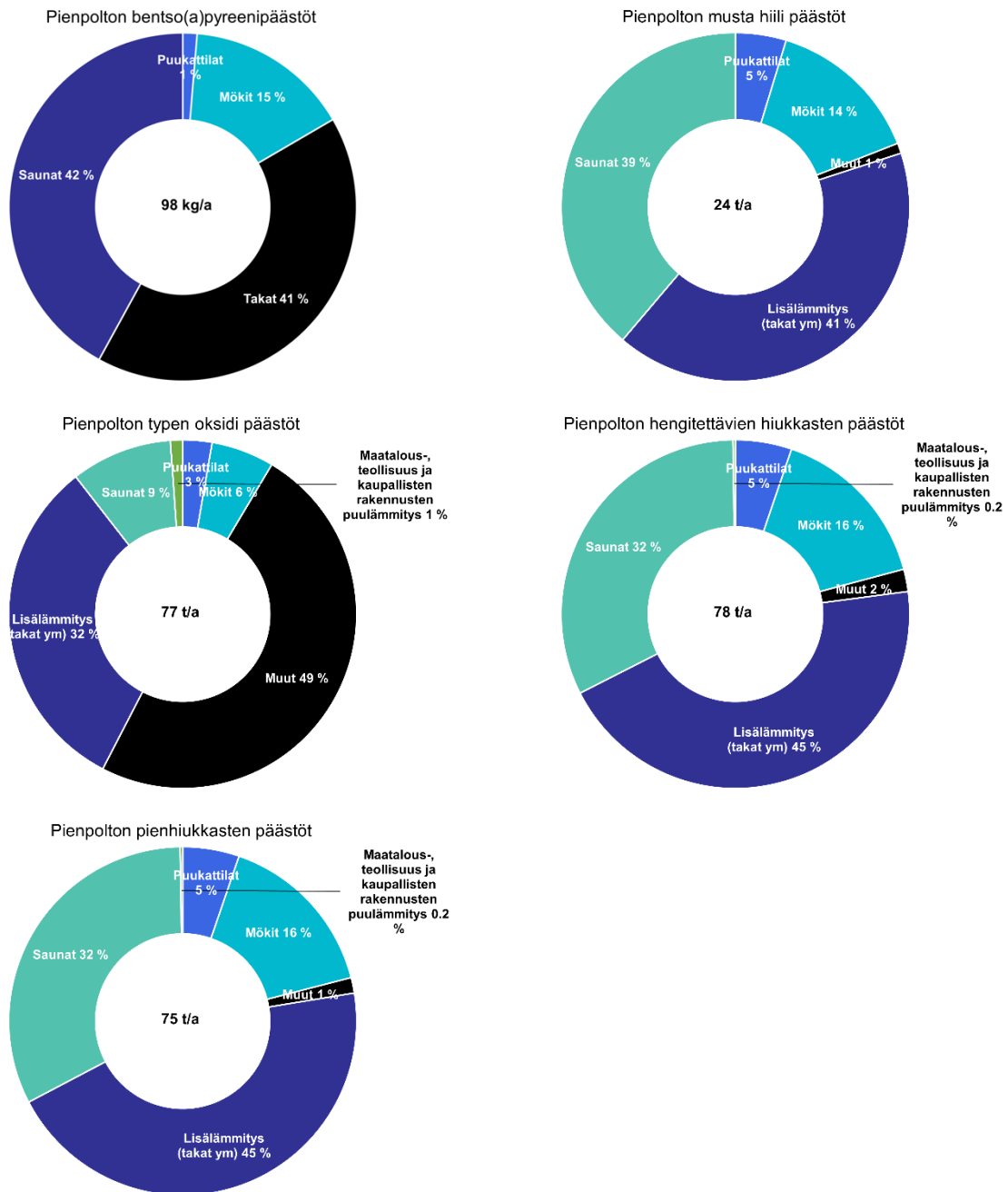
Päästöt on jaoteltu omakotitalojen puukattilalämmitykseen, öljykattilalämmitykseen, lisälämmityslähteisiin (esim. takat) ja saunoihin, sekä vapaa-ajanrakennusten pienpolttoon ja maatalous-, teollisuus- ja kaupallisten rakennusten puulämmitykseen. Mallinnuksessa tarkasteltiin kiinteistökohtaisen lämmityksen tyyppien oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten, mustan hiilen ja bentso(a)pyreenin päästöjä nykytilanteessa vuonna 2019. Kiinteistökohtaiselle lämmitykselle ei ole ennustetta vuodelle 2030, jonka vuoksi vuoden 2040 leviämismallinnuksen tuloksissa käytettiin kiinteistökohtaisen lämmityksen osalta nykytilanteen päästöjä.

Kuvassa 43 esitetty kiinteistökohtaisen lämmityksen kokonaispäästöt ja eri lämmityslähteiden osuudet Tampereella nykytilanteessa. Leviämismallinnuksessa käytetyt kokonaispäästöt olivat näitä suuremmat mukana olleiden naapurikuntien päästöjen vuoksi. Kaikki leviämismallinnuksessa mukana olleet päästöt ruuduittain on esitetty liitekuvin 99–103. Päästöt ovat suurimmillaan tiheään asutuilla pientaloalueilla.

Tampereella kiinteistökohtainen lämmitys aiheuttaa bentso(a)pyreenipäästöjä 98 t/v ja musta hiili päästöjä 24 t/v. Bentso(a)pyreeni ja musta hiili päästöistä valtaosa aiheutuu lisälämmityksestä, kuten takoista (40 %) ja saunoista (40 %). Mökkien osuus on noin 15 % kokonaispäästöistä. Hengitettävien ja pienhiukkasten kokonaispäästöt Tampereella ovat 75–78 t/v. Päästöistä 45 % aiheutuu asuintalojen lisälämmityksestä, noin 30 % asuintalojen saunoista ja 15 % vapaa-ajan asunnoista. Kiinteistökohtaisen lämmityksen tyyppien oksidien kokonaispäästöt ovat 77 t/v, joista omakotitalojen kattilalämmityksessä käytetyt muut polttoaineet aiheuttavat lähes 50 % päästöistä. Asuintalojen lisälämmitys aiheuttaa noin 30 % päästöistä saunojen ja mökkien osuuden ollessa 6–9 %.

Leviämismallinnuksessa huomioitiin eri lämmityslähteiden päästöjen aikavaihtelu SYKE:n tuottaman Suomen keskimääräisen aikavaihteluaineiston perusteella. Aineistossa oli kolme erilaista aikavaihtelua: erikseen asuinrakennusten lämmityskattiloille, lisälämmityslähteille (varaavat takat) ja saunoille. Aikavaihtelun avulla painotetaan keskimääräisiä päästöjä eri ajankohdille. Lämmityskattiloissa ja lisälämmityslähteissä puuta käytetään eniten talvikuukausina, lisälämmityslähteissä talvikuukausina viikonloppuisin, saunoissa lauantaisin, perjantaisin ja keskiviikkoisin läpi vuoden. Lämmityskattiloiden käytössä ei viikkotasolla ole päivittäisiä eroja. Kaikki lämmityslähteet ovat käytössä klo 8–24 välisenä aikana käytön painottuessa alkuiltaan ja jonkin verran aamupäivään.

Leviämislaskelmissa päästöt mallinnettiin ns. pintapäästölähteinä, joiden koko oli 250 m × 250 m ja kaikkien ruutujen päästökorkeuden oletettiin olevan 7,5 m maanpinnasta. Päästökorkeudessa on piipunkorkeuden lisäksi huomioitu ympäröivää ulkoilmaa lämpimämmän savukaasun lämpönosteen vaikutus päästön leviämisessä.



Kuva 43. Tampereen kiinteistökohtaisen lämmityksen aiheuttamat typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja mustan hiilen päästöt (t/a) sekä bentso(a)pyreenin päästöt (kg/a) lämmityslähteittäin vuonna 2021.



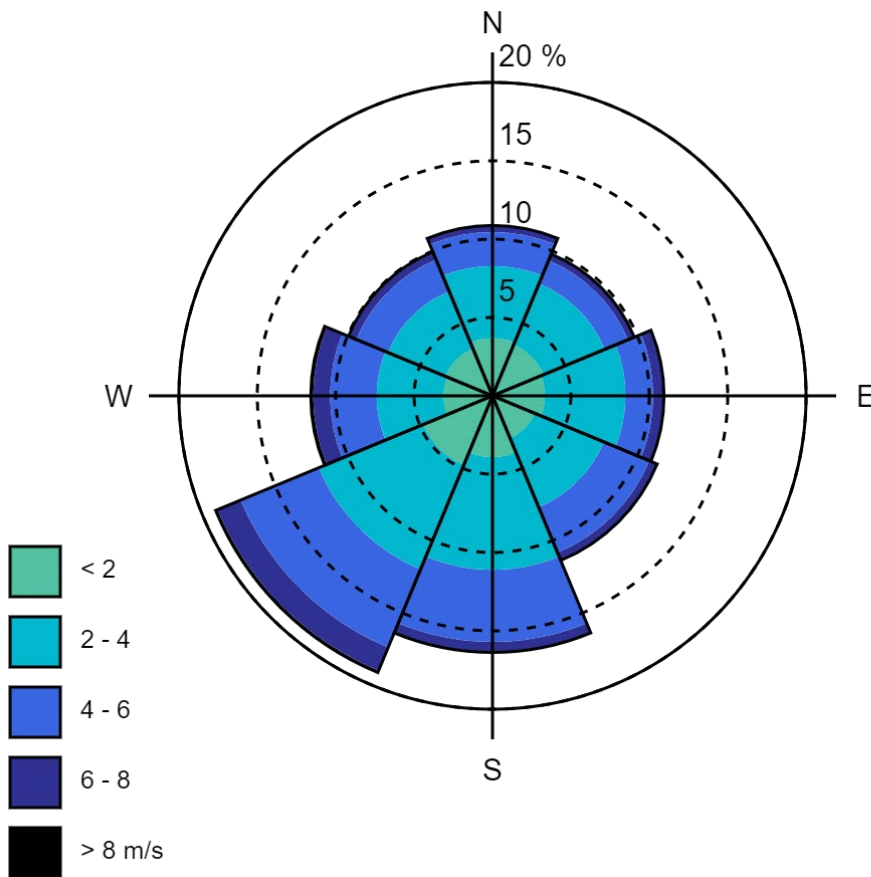
Kuva: Katja Lovén

7.2 Meteorologiset tiedot

Leviämismallilaskelmia varten määritettiin ilmakehän rajakerrosta kuvaavat parametrit, jotka edustavat tutkimusaluetta mahdollisimman hyvin. Mallilaskelmissa käytetyn meteorologisen aineiston muodostamisessa on käytetty eri ympäristöissä sijaitsevien Ilmatieteen laitoksen sääasemien havaintoja, jotta aineistosta saadaan mahdollisimman edustava koko Tampereen seudun alueen mallinnusta varten. Laskelmissa käytettäväksi sääasemiksi valittiin tarkastelualuetta edustavat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita.

Mallilaskelmissa käytettyjen meteorologisten tietojen etäisyyspainotettu yhdistelmäaineisto muodostettiin Tampere-Pirkkala lentoaseman, Tampereen Härmälän ja Siikakarin sääasemien vuosien 2021–2023 havainnoista. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten observatorion radioluotaushavaintoja. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät maailman Ilmatieteen Järjestön ja Kansainvälisen Siviili-ilmailujärjestön laatuvaatimukset. Sääasemien havaintoaineistoista muodostettiin kolmen tarkasteluvuoden tunneittainen aikasarja, joka sisältää päästöjen leviämisen ja laimenemisen kannalta oleellisia ilmankehän rajakerroksen tilaa kuvaavia parametreja, mm. tuulen suunta ja nopeus, stabiilisuus, sekoituskorkeus ja lämpötila.

Kuvassa 44 on esitetty tuulen suunta- ja nopeusjakauma tarkastelualueella tuuliruusun muodossa. Tampereen alueella etelä- ja länsituulet ovat vallitsevia, kun taas luoteis- ja kaakkoistuulia esiintyy vähemmän.



Kuva 44. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma Tampereella vuosina 2021–2023. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

7.3 Taustapitoisuudet

Leviämismallilaskelmissa huomioitiin autoliikenteen, energiantuotannon, teollisuuden ja kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueellinen taustapitoisuus, jotta mallilaskelmin saadut pitoisuudet vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisia epäpuhtauspitoisuustasoja. Tausta-asemalta saadaan myös typen oksidien muutunnan kuvaamista varten tarvittava otsonin ja typen oksidien pitoisuus kaupungin ulkopuolella ennen paikallisten päästöjen aiheuttamaa otsonin ja typen oksidien ilmakemiallista muutunutta. Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Juupajoen Hyytiälän ja HSY:n Espoon Luukissa sijaitsevan taustailmanlaadun mittausaseman tuloksia. Tarkastelujaksolla 2021–2023 typen oksidien taustapitoisuuden keskiarvo oli $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pienhiukkasten $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, otsonin $50,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja mustan hiilen $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ilmatieteen laitos, 2024). Bentso(a)pyreenin leviämismallinnuksessa ei huomioitu taustapitoisuutta. Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuksien vuorokauden sisäistä ja vuodenajoittaista vaihtelua.

7.4 Laskentapisteikkö

Pitoisuudet laskettiin Tampereen kantakaupungin alueelle. Pohjois-Tampereen alue jätettiin leviämismallinnuksen ulkopuolelle, koska merkittävien päästölähteiden ja altistuvien ihmisten määrä alueella on vähäinen. Mallinnusalueen koko oli 29 x 16 km, joka kattoi yli 125 000 laskentapistettä. Laskentapisteiden etäisyys toisistaan vaihteli 1–250 m välillä riippuen alueesta.

Liikenneväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä. Laskentapisteet sijoitettiin liikenneväylille 1–50 m välein siten, että yksi piste sijaitsee väylällä ja väylän molemmin puolin sijaitsevat laskentapisteet 50 m ja 100 m etäisyydellä väylästä. Lisäksi teollisuus- ja energiantuotantolaitosten läheisyydessä käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä, jossa laskentapisteiden etäisyys toisistaan oli 50 m.

Maanpinnan korkeuserot huomioitiin laskentapisteissä Maanmittauslaitoksen maastonkorkeus-tietojen mukaisesti. Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin jokaisessa laskentapisteessä 2 metrin korkeudelle maanpinnasta eli ihmisten hengityskorkeudelle.

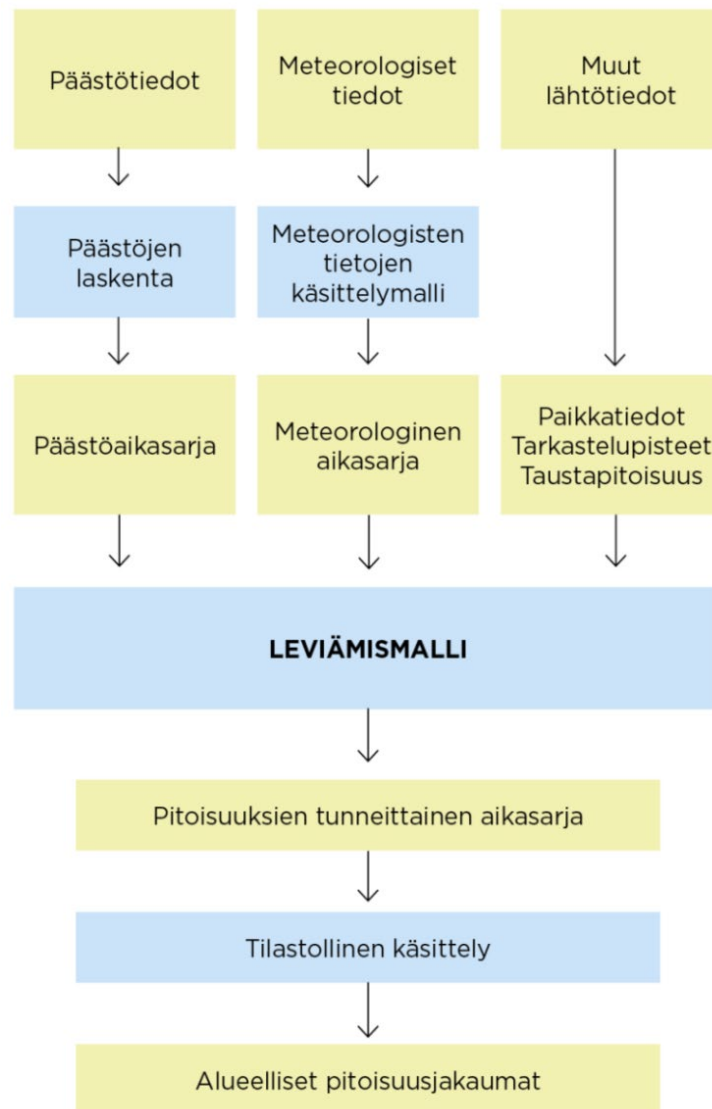
Yksittäisiin laskentapisteisiin lasketuista pitoisuusarvoista ja niistä edelleen lasketuista tilastollisista arvoista muodostetaan pitoisuuksien aluejakaumia. Pitoisuuksien aluejakaumissa esitetään leviämismallilaskelmien tuloksina samanarvonkäyrillä ne alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Tiheän laskentapisteikön ansiosta pitoisuuksien alueelliset ja paikalliset vaihtelut voidaan kuvata tarkasti.

8 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

8.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Leviämismallit ovat tietokoneohjelmistoja, joiden avulla pyritään jäljittelemään ilmakehässä tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä mahdollisimman todenmukaisesti. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeutumaan. Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja ilmansaasteiden taustapitoisuudesta tutkimusalueella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja maanpinnan laadusta sekä tietoa päästölähteiden sijainnista.

Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (3 vuotta, 26 304 tuntia) laskettu päästö määrä erikseen kaikille tarkasteltaville ilman epäpuhtauksille. Leviämismalleilla lasketaan ilman epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja sillä oletuksella, että meteorologinen tilanne ja eri lähteiden päästöt pysyvät vakioina tunnin ajan. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen kolmen vuoden tuntiaikasarja ja kunkin päästölähteen tunneittaiset päästöaikasarjat on käyty läpi. Leviämismallit tuottavat jokaisen tunnin meteorologista tilannetta vastaavat, kunkin lähteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet jokaiseen laskentapisteeseen. Näin kuhunkin laskentapisteeseen muodostetaan tilastollisesti edustava määrä pitoisuuden tuntiarvoja, joista ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset tunnusluvut edelleen lasketaan. Mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan verrata ilmanlaadun raja- ja ohjearvoihin (taulukot 12 ja 13). Kaaviokuvassa 45 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 45. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallin UDM-FMI ja viivalähdemallin CAR-FMI toiminnasta.

8.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)

Ilman epäpuhtauksien leviämistä kuvaava Ilmatieteen laitoksen leviämismalli UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling System) on muokattu Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista (Karpainen, ym., 1998). Leviämismallia on kehitetty Ilmatieteen laitoksella Suomen olosuhteisiin sopivaksi ja sitä on sovellettu sadoissa erilaisissa ilmanlaatuselvityksissä ja -tutkimuksissa Suomessa ja ulkomailla. Tällä leviämismallilla voidaan laskea eri tyyppisten piste- ja pintalähteiden päästöjen aiheuttamia epäpuhtauksien pitoisuuksia päästölähteen ympäristössä. Mallissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia epäpuhtauksien kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä.

UDM-FMI-mallin merkittävien ero useisiin muihin leviämismalleihin verrattuna on päästölähteestä tulevan poistokaasuvanan pitoisuusjakauman muotoon vaikuttavien leviämisparametrien määrittäminen. Näiden parametrien arvot ovat yleensä olleet sidoksissa ilmakehän tilaa karkeasti kuvaaviin Pasquill-Turner-stabiilisuuksiin. UDM-FMI-mallissa käytetään kuitenkin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisen aineiston käsittelymenetelmää MPP-FMI, eli niin sanottua ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmää, jolla voidaan merkittävästi parantaa todellisten ilmakehän olosuhteiden kuvaamista mallissa.

Leviämismallissa on laskentamenetelmä nousulisälle, joka muodostuu, kun poistokaasut vapautuessaan päästökohteesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmavirtauksia häiritsevät kohteet, kuten päästölähdettä ympäröivät rakennukset tai itse lähteen ominaisuudet. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä savupainuma. Näiden leviämiseen vaikuttavien tekijöiden käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät leviämismalliin. Mallin sovellutuksissa huomioidaan paikalliset päästöjen kulkeutumiseen ja sekoittumiseen vaikuttavat tekijät, joita ovat muun muassa topografia sekä maaston, vesistöjen ja asutuksen aiheuttamat leviämisalustan rosoisuuserot.

8.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI)

Ilmatieteen laitoksella kehitetty liikenteen päästöjen viivalähdemalli CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*) perustuu leviämisen osalta analyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutoksen osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais- NO_x) ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, joka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponentteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää UDM-FMI-mallilla tehtyihin tuloksiin.

8.4 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen (FORE)

Tieliikenne aiheuttaa pakokaasujen suorien pienhiukkaspäästöjen lisäksi myös epäsuoria hiukkaspäästöjä ajoneuvojen nostattaman katupölyn muodossa, mistä suurin osa on hengitettäviä hiukkasia. Ilmatieteen laitoksen leviämismalleilla voidaan laskea liikenteen pakokaasupäästöjen lisäksi myös liikenteen epäsuora vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Tieliikenteen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa hyödynnetään suspensiopäästömallia, jolla kuvataan katujen pölyämisen vaikutusta hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym., 2011*). Suspensiopäästömalli perustuu Ruotsin Ilmatieteen laitoksen (SMHI) kehittämään hiukkaspäästömalliin (*Omstedt ym., 2005*).

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensiopäästömalli arvioi tien pinnan kosteutta sademäärän, haihdunnan ja valunnan avulla. Mallissa kuvitteellinen tien pölykerros kasvaa kosteissa olosuhteissa nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen ja hiekoituksen vuoksi, sillä pöly ei pääse vapautumaan ilmaan sateisina aikoina. Kuivana kautena liikenteen ja tuulen aiheuttama turbulenssi nostaa hiukkaset ilmaan pienentäen näin pölykerrosta. Tien pölykerros pienenee myös sateen aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Tien kulumisesta aiheutuvan pölykerroksen paksuus riippuu nastarenkaiden käytön määrästä. Tien

hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan tai kaupungin katujen kunnossapidosta saatujen hiekoitustietojen mukaan. Katujen pölyämisestä ilmaan vapautuvan päästön määrää arvioidaan tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimien, liikennemäärien ja sääolosuhteiden avulla.

8.5 Typenoksidipäästöjen ilmakemiamalli

Kiinteiden päästölähteiden polttoaineiden palamisessa muodostuvat ja liikenteen typenoksidipäästöt ovat pääasiassa typpimonoksidia (NO), kun taas terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa typpidioksidia (NO₂) on päästöistä pienempi osa. Oksidit hapettuvat ilmassa kaasufaasireaktioissa hapen, otsonin, hydroksyyli- ja peroksidiradikaalien toimiessa hapettimina. Reaktionopeudet riippuvat vuoden- ja vuorokaudenajasta, auringon säteilyn määrästä ja lämpötilasta. Valokemialliset reaktiot, joissa molekyylit hajoavat, ovat tärkeitä päivänvalossa. Myös päästöjen leviäminen ja niiden sekoittuminen ilmaan vaikuttavat typen oksidien muutunnan tehokkuuteen.

Jotta leviämismallilaskelmin voitaisiin kuvata erilaisten hapettuneiden typen yhdisteiden pitoisuudet ulkoilmassa, on mallisovellutuksissa otettava huomioon ilmakehässä tapahtuvat kemialliset reaktiot. Pistemäisten päästölähteiden typenoksidipäästöjen muutunutta käsitellään menetelmällä, jossa UDM-FMI-malliin on yhdistetty erilaisten meteorologisten tilanteiden ja otsonin taustapitoisuuden mukaan parametrisoituja funktioita. Näillä funktioilla kuvataan typen oksidien hapettumista ja NO₂/NO-suhteen muuttumista poistokaasuvanassa eri etäisyyksillä päästölähteestä.

Liikenteen päästöjen leviämistä kuvaavaan viivalähdemalliin on kehitetty Ilmatieteen laitoksella typenoksidien muutunutta arvioiva malli, jolla voidaan huomioida erilaisten taustapitoisuuksien ilmakemiallinen vaikutus kunkin viivalähteen päästöön. Laskennassa käytetään taustailmanlaadun mittaussasemien mittaustuloksia, joista määritetään kullekin vuoden kuukaudelle vuorokauden sisäistä vaihtelua kuvaavat typenoksidi- ja otsonipitoisuuksien keskimääräiset tuntikeskiarvojen jakaumat. Laskennassa huomioidaan muiden viivalähteiden aiheuttamat typpidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuudet järjestämällä viivalähteet pitoisuuksia laskettaessa tuulen suunnan mukaan. Näin jokaisen viivalähteen kemiallista muutunutta arvioitaessa on typpidioksidi- ja typpimonoksidipitoisuuksissa huomioitu kaikkien tuulen yläpuolella olevien, aiemmin laskennassa mukana olleiden viivalähteiden vaikutus tarkasteltavaan viivalähteeseen. Otsonin kulumisen typen oksidien ilmakemiallisissa reaktioissa huomioidaan eli alueellisen otsonitaustan ei oleteta olevan muutunnassa ehtymätön otsonilähde. Mallinnuksessa otsoni voi kulua loppuun erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä alueilla. Tämän seurauksena typpidioksidin muutunta voi loppua kokonaan typenoksidipäästön määrästä riippumatta.

Kemiallisissa muutuntamalleissa tarvittavat auringon säteilytiedot muodostetaan yleensä tarkastelualueella lähinnä sijaitsevan sääaseman mittaustuloksista ja otsonin ja typen oksidien taustapitoisuustiedot hankitaan lähimmältä ilmanlaadun taustahavaintoasemalta.

8.6 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa tarvittavan sääaineiston tuottamisessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia MPP-FMI (Meteorological preprocessor). Malli perustuu ilmakehän rajakerroksen (noin 0–2 000 m maanpinnasta) parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittaustiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista.

Rajakerroksen parametrisoinnin avulla on mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa huomioon myös päästölähteisiin liittyvä fysiikka paremmin kuin jos käytettäisiin vain ilmakehän tilaa karkeasti kuvaavia Pasquill-Turner -stabiiliusluokkia. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikallisia tekijöitä, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (auringon säteilyn heijastuskyky maanpinnasta) eri maanpinnan laaduille. Ilman epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiiliutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus.

Laskelmissa käytetään yleensä kolmen vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Säähavaintoaineisto hankitaan Ilmatieteen laitoksen omilta säähavaintoasemilta, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen tilastollisena yhdistelmänä. Näin varmistetaan, etteivät tietyt sääasemien lähiympäristöstä johtuvat tuuliaineiston erityispiirteet vääristä kuvaa leviämismallilaskelmin saatavista pitoisuuksien aluejakaumista ja esimerkiksi maksimiarvon sijainnista mallin tulostusalueella. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten parametrien tunneittaiset aikasarjat. Meteorologisen aikasarjan laatii meteorologi.

OSA III

9 MITTAUSASEMIEN EDUSTAVUUDEN ARVIOINTI

9.1 Mittausasemien edustavuuden arviointi

Valtioneuvoston ilmanlaatuasetuksen (Vna 79/2017) perusteella alueen, jossa mittausasema sijaitsee, tulee olla riittävän edustava. Kaupungin yleistä ilmanlaatua arvioitaessa tällä tarkoitetaan sijaintia, joka edustaa ympäröivän alueen ilmanlaatua pääsääntöisesti usean neliökilometrin laajuudelta siten, että alueen pitoisuudet edustavat kaikkien ympäristön päästölähteiden yhteisvaikutusta. EU:n vuonna 2030 voimaantulevassa ilmanlaatudirektiivissä (European Union, 2024) alueellinen edustavuus ("spatial representativeness") määritellään arvioinniksi, jossa mittauspaikassa havaitut ilmanlaatonormit edustavat tietyllä erikseen määritellyllä maantieteellisellä alueella havaittuja ilmanlaatonormeja ennalta määriteltujen vaihteluvälien puitteissa.

Tällä hetkellä mittausasemien edustavuuden arvioinnille ei anneta ohjeita EU-lainsäädännössä eikä Suomen kansallisessa ilmanlaatulainsäädännössä. Kun ilmanlaadun mittauksia raportoidaan EU:lle, tulee kiinteiltä mittausasemilta kuitenkin raportoida myös edustavuuden arviointi ja edustavan alueen laajuus. Näiden tietojen raportointi on pakollista, mutta määritellyn referenssimenetelmän puuttuessa on toistaiseksi ollut sallittua jättää tieto raportoimatta. Eri EU-mailla on olemassa laaja kirjo erilaisia menetelmiä, joilla ne arvioivat mittausasemiensa edustavuutta. Tässä raportissa käytetään EU:n mallintamisverkosto FAIRMODE:n (*The Forum for Air quality Modelling*) suositusta mittausasemien edustavuuden arvioimiseksi (FAIRMODE, 2025). FAIRMODEn suosittelemat arviointikriteerit ovat:

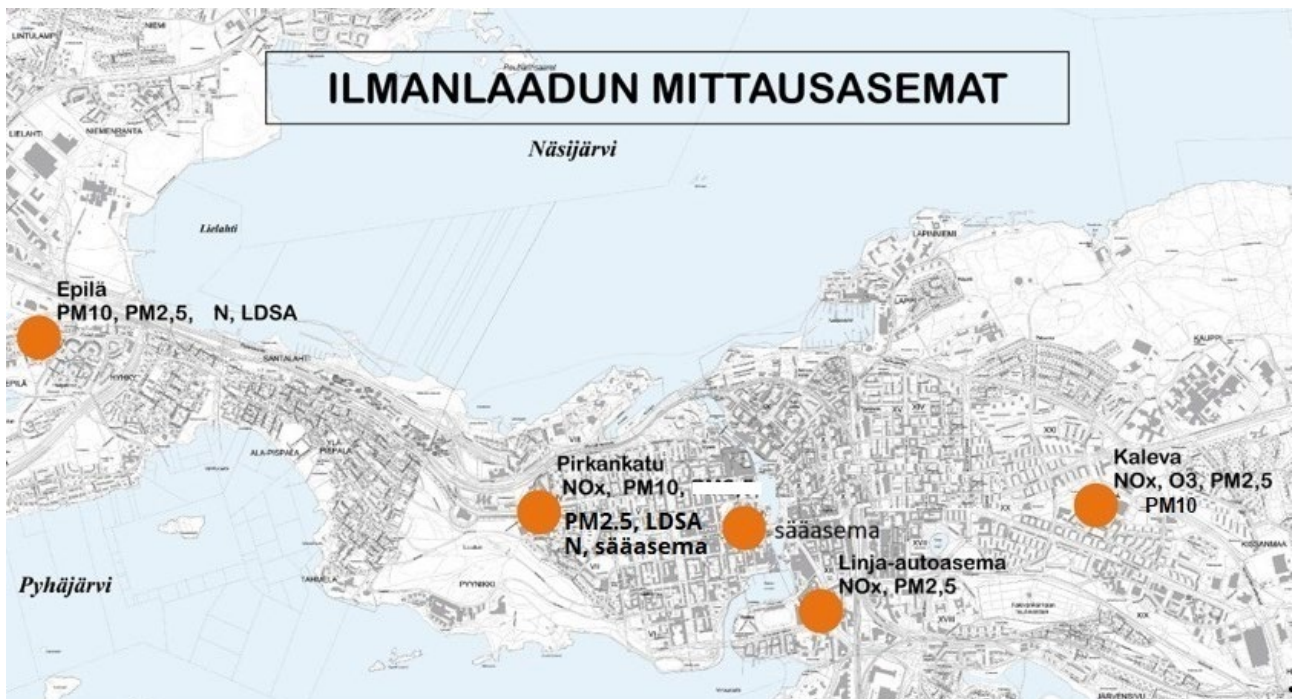
- Valittu maantieteellinen alue voi olla epäjatkuva, muttei saa ulottua kyseisen ilmansaasteen ilmanlaadun seuranta-alueen ulkopuolelle
- Alueen sisällä pitoisuudet saavat vaihdella enintään ± 15 % aseman vuosikeskiarvopitoisuuksista, kuitenkin vähintään:
 - PM_{10} , NO_2 , O_3 : $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 : $\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO : $\pm 0,025 \text{ mg}/\text{m}^3$
 - B(a)P : $\pm 0,2 \text{ ng}/\text{m}^3$
- Arvioinnissa käytettynä ilmanlaatonormina on vuosikeskiarvopitoisuus tietyssä vuonna. Myös muita normeja voidaan käyttää, kuten persentilejä
- Jos arviointi perustuu mallinnettuihin pitoisuuksiin, tulee siinä käyttää mittausasemien kohdalle mallinnettuja pitoisuuksia. Tällä vältetään mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien välillä mahdollisesti olevista järjestelmällisistä eroista aiheutuvat virheet. Mallin alueellisen erotelluvuuden on oltava käyttötarkoitukseen soveltuva

Tässä arvioinnissa käytettiin raportin osassa I esitettyjä Tampereen alueen kaikkien päästölähteiden mallinnettuja vuosikeskiarvopitoisuuksia, joita verrattiin kunkin aseman vastaaviin mallinnettuihin pitoisuuksiin. Kaikkien mallinnettujen ilmansaasteiden pitoisuudet olivat niin alhaisia, että vaihteluväleinä käytettiin yllä lueteltuja vähimmäisarvoja. Lisäksi pienhiukkasten pitoisuuksien vaihtelu oli niin pientä, että päällekkäisten edustavuusalueiden välttämiseksi arvioinnissa käytettiin pienhiukkasten päästöjen alueellista jakaumaa. Yllä olevien kriteerien lisäksi alueet valittiin myös samantyyppisen saasteiden leviämisympäristön perusteella, millä tarkoitetaan esimerkiksi

samankaltaista rakennuskantaa, katuverkkoa ja viheralueita. Mallinnettujen pitoisuuksien lisäksi arvioinnissa käytettiin apuna ilmakuvia ja valokuvia leviämisympäristön arvioimiseen, päästöjen alueellista jakaumaa, maankäyttötietoja sekä liikennemääräaineistoa. Arviointi tehtiin usean kokeneen ilmanlaadun asiantuntijan yhteistyönä, mikä vähentää yksittäisen asiantuntijan näkemyksen liiallista korostumista.

9.2 Tampereen ilmanlaadun mittausasemat ja edustavuus

Tampereella ilmanlaatua mitataan yhteensä neljällä eri asemalla: Epilä, Pirkankatu, Kaleva ja Linja-autoasema. Lisäksi mittausverkko sisältää erillisen sääaseman. Kaikilla asemilla mitataan pienhiukkasia, Epilässä, Pirkankadulla ja Kalevassa mitataan hengitettäviä hiukkasia, ja kaikkialla paitsi Epilässä mitataan typen oksideita. Mittausasemien sijainnit on esitetty kuvassa 46.

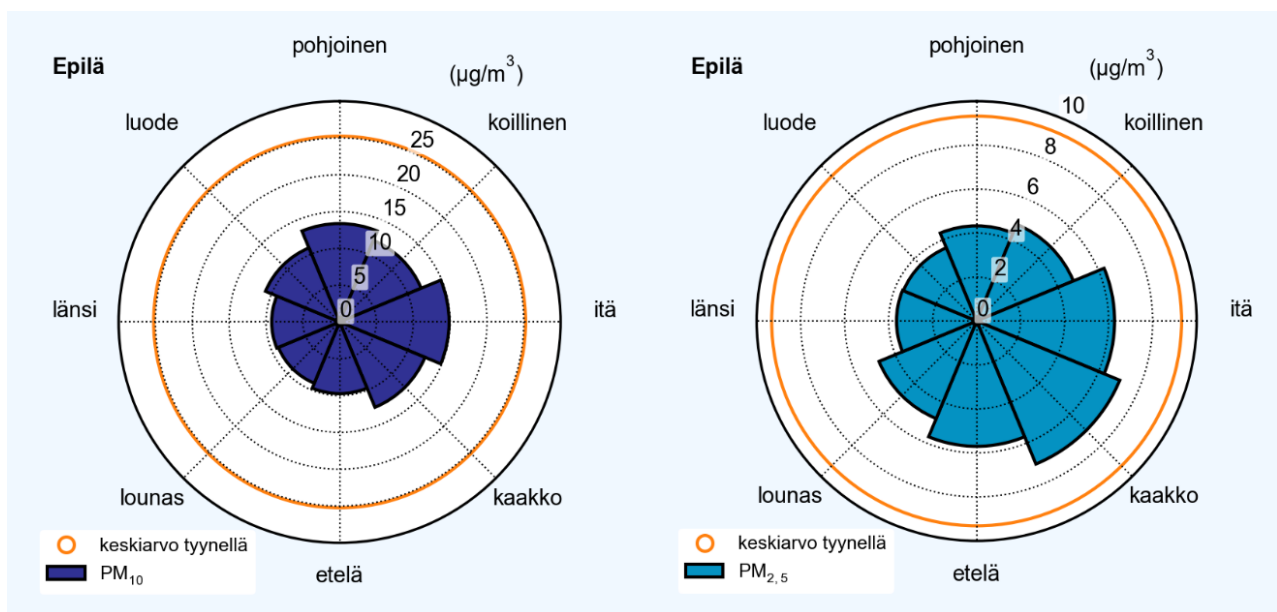


Kuva 46. Tampereen ilmanlaadun mittausasemien sijainti. Kuva: *Tampereen kaupunki, 2025.*

9.2.1 Epilä

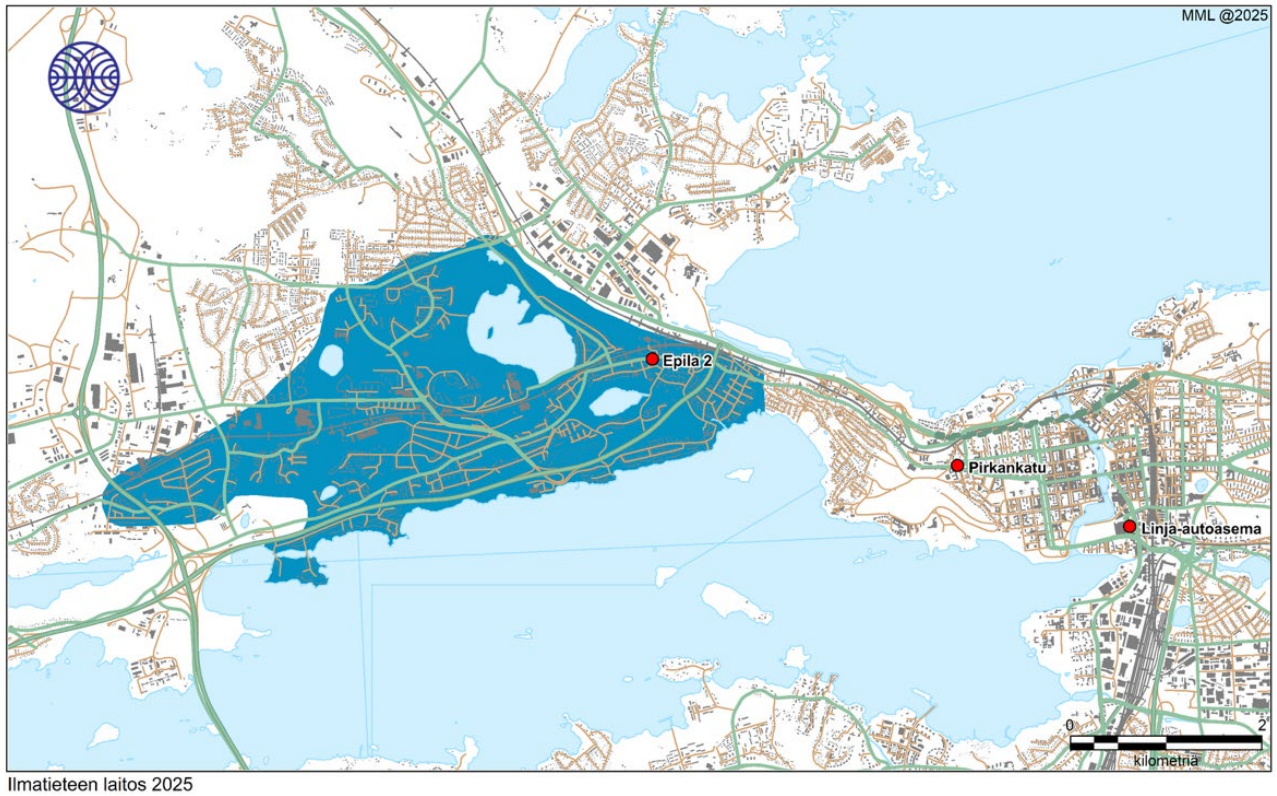
Epilän asema sijaitsee Tampereen keskustan länsipuolella pientaloalueella, Pispalan valtatievarrella. Aseman etäisyys Pispalan valtatievarrella on noin 10 m, täyttäen liikenneaseman kriteerit. Valtatie liikennemäärä vuonna 2016 oli 9830 ajoneuvoa/vrk (*Tampereen kaupunki, 2024*). Asemalla mitattuihin pitoisuuksiin vaikuttavat pientaloalueen pienpolton pienhiukkaspäästöjen lisäksi siis myös liikenteen päästöt (kappale 3). Tämä havaitaan myös kuvan 47 pitoisuusruusuista. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat korkeimmillaan tuulen puhaltaessa aseman läheisten teiden suunnilta, joskin erot eri tuulen suuntien välillä ovat pieniä. Pienhiukkasten korkeimmat pitoisuudet mitattiin tuulen puhaltaessa aseman etelänpuoleisen pientaloalueen suunnalta. Lähipäästölähteillä on voimakas vaikutus aseman pitoisuuksiin.

Pitoisuusruusut kuvaavat jaksolla 2021–2023 mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvoa eri tuulensuunnilla. Tuuliaineistona on käytetty Pirkkalan lentokentällä mitattuja tuulia samalta jaksolta, sillä niiden katsottiin parhaiten edustavan Tampereen tuoliolosuhteita. Sektorien säteen pituus vastaa niiden tuntipitoisuuksien keskiarvoa, jotka mitattiin tuulen puhaltaessa kyseistä sektoria vastaavasta suunnasta. Tyynellä säällä (tuulen nopeus alle 0,5 m/s) mitattujen tuntipitoisuuksien keskiarvo on esitetty oranssilla ympyrällä. Tyynellä mitatut pitoisuudet on eritelty kuvaajassa, sillä näinä hetkinä tuulen suunta ei ole leviämisolosuhteiden suhteen edustava, eikä näin ollen voida päätellä mistä mitatut pitoisuudet ovat peräisin. Kovemilla tuulennopeuksilla pystytään selkeämmin päättämään, mistä suunnasta mitatut pitoisuudet ovat peräisin.



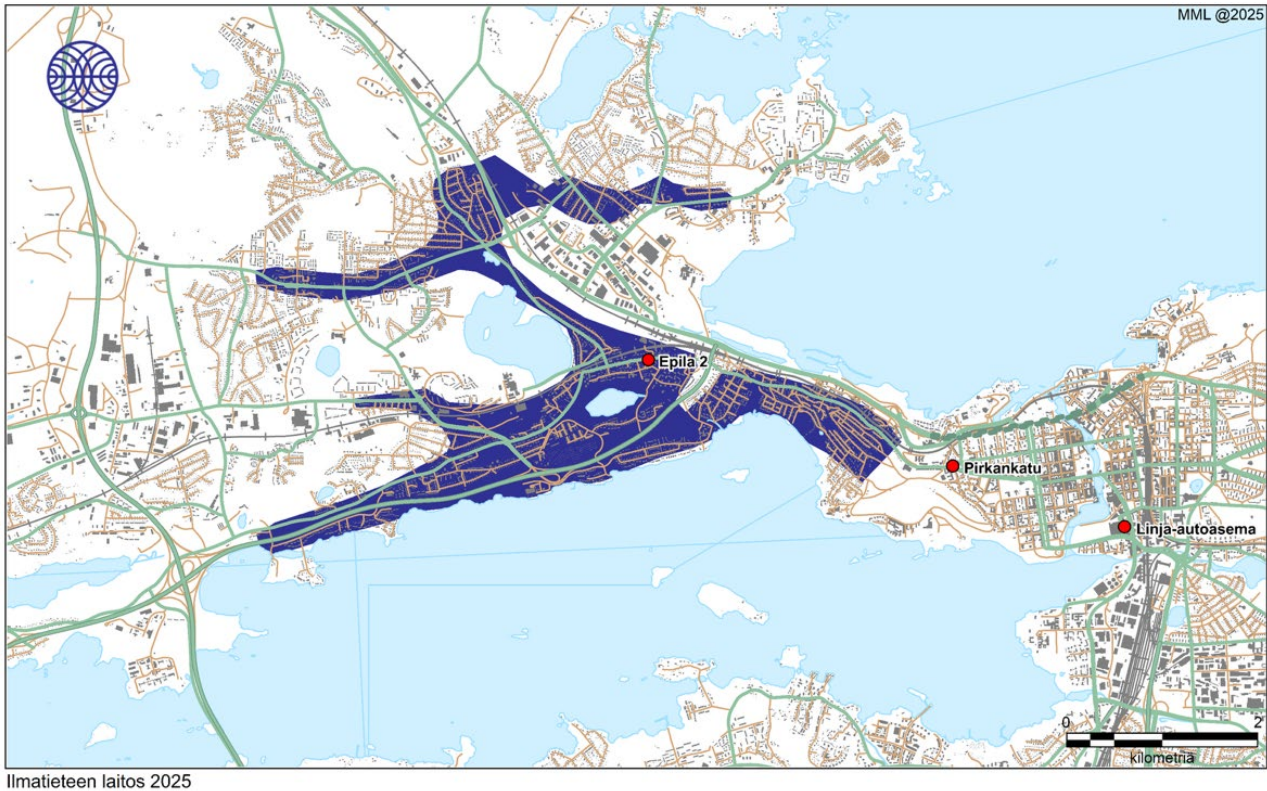
Kuva 47. Epilän mittausaseman pitoisuusruusut vuosien 2021–2023 mittauksien perusteella. Sektorit esittävät kyseiseltä ilmansuunnalta puhaltaneiden tuulten aikana mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa. Oranssi ympyrä esittää tyynissä olosuhteissa mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa (tuulen nopeus alle 0,5 m/s).

Kuvassa 48 on esitetty Epilän mittausaseman edustavuusalue pienhiukkasten mittausten suhteen. Alue on kooltaan verrattain suuri (Taulukko 22), sillä pienhiukkasten päästöt vaihtelevat vähän alueellisesti. Alue on lisäksi pyritty rajaamaan pientalovaltaiseen ympäristöön, jota paikallisesti vilkkaammat tiet halkovat, sillä tämä kuvastaa aseman ympäristön olosuhteita.



Kuva 48. Epilän mittausaseman edustavuusalue pienhiukkasten mittausten suhteen.

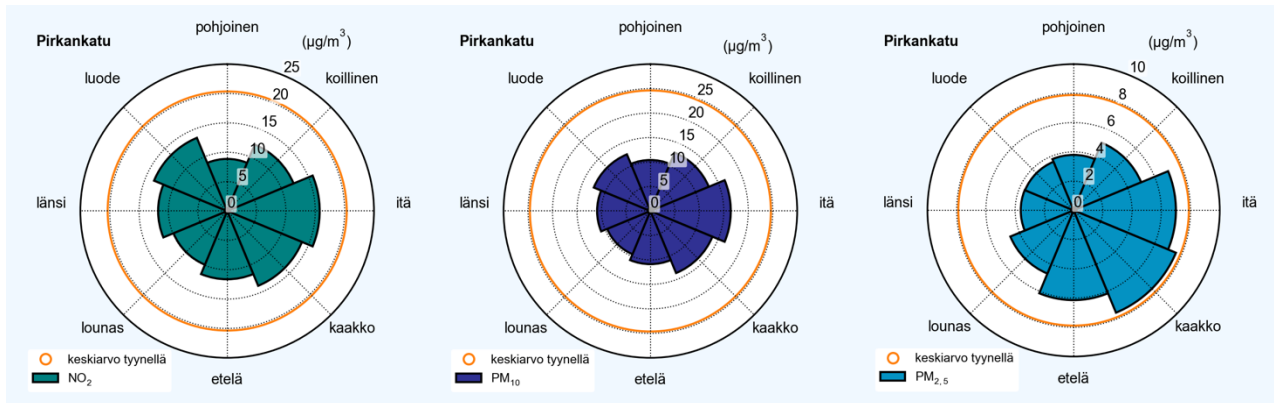
Kuvassa 49 on esitetty Epilän mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten mittausten suhteen. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelevat enemmän, minkä vuoksi alue on kooltaan pienempi. Se myös myötäilee jossain määrin alueen vilkkaimpia teitä. Tämä johtuu Epilän aseman sijainnista lähellä Pispalan valtatieä, sillä liikenteen aiheuttama katupöly on merkittävä hengitettävien hiukkasten lähde. Myös tässä tapauksessa alue on pyritty rajaamaan pientalovaltaiseen ympäristöön.



Kuva 49. Epilän mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten mittauksen suhteen.

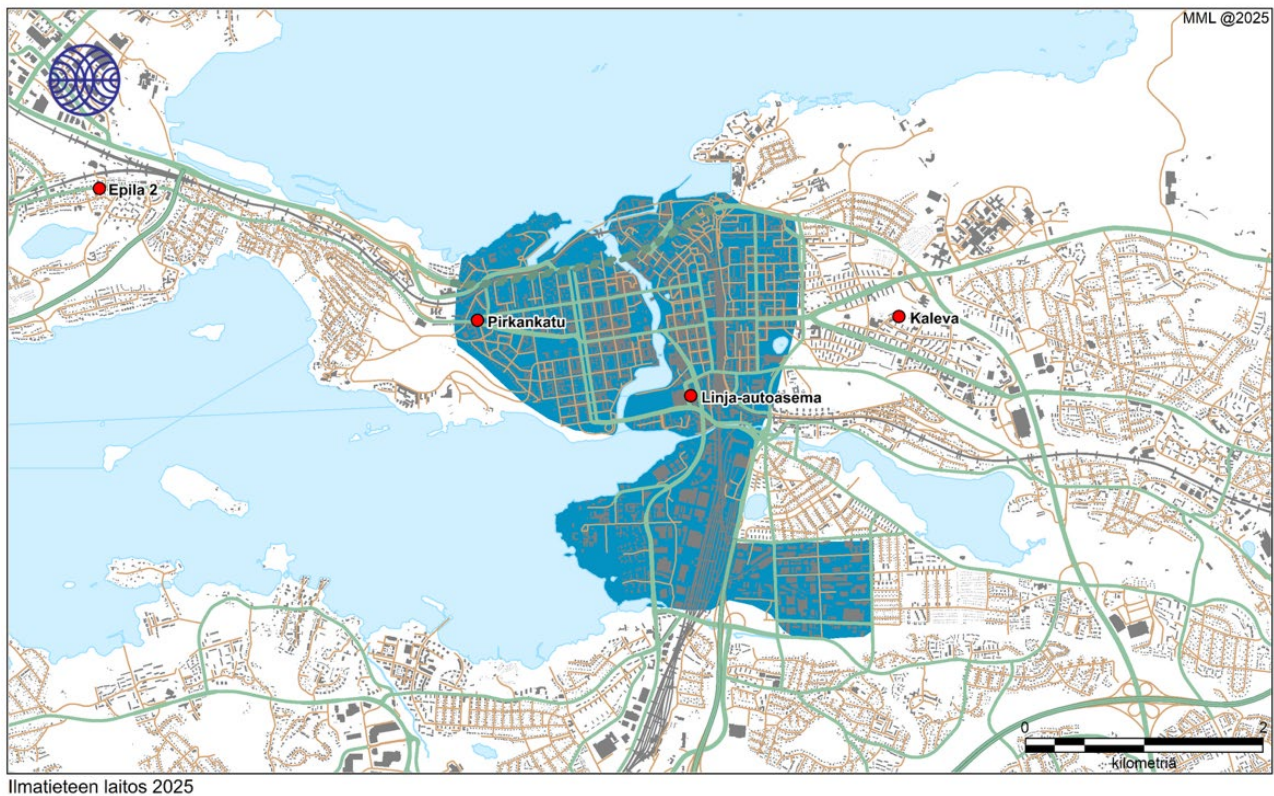
9.2.2 Pirkankatu

Pirkankadun asema sijaitsee Tampereen keskustan ruutukaava-alueen länsireunalla, noin 40 metrin etäisyydellä Pirkankadun ja Satakunnankadun risteyksestä, noin 14 metrin etäisyydellä Pirkankadusta ja noin 16 metrin etäisyydellä Satakunnankadusta. Asema ei siten täytä liikenneaseman kriteereitä (etäisyys ajoradasta alle 10 m). Aseman lähellä on lisäksi kaksi bussipysäkkiä. Pirkankadun liikennemäärä vuonna 2016 oli 9550 ajoneuvoa/vrk (*Tampereen kaupunki, 2024*). Liikenteellä on siis voimakas vaikutus asemalla mitattuihin pitoisuuksiin, joihin kuuluvat typen oksidit sekä pien- ja hengitettävät hiukkaset (kappale 3). Tämä nähdään myös aseman pitoisuusruusuista (kuva 50). Korkeimmat typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet mitattiin tuulen puhaltaessa läheisen Pirkankadun ja Satakunnankadun risteuksen sekä aseman viereisen pienemmän tien suunnalta. Korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet mitattiin tuulen puhaltaessa Pyynikinrinteen suunnalta, missä on hieman pienpolton päästöjä. Lähipäästölähteillä on voimakas vaikutus asemalla mitattuihin pitoisuuksiin. Asema edustaa leviämisympäristönsä ja pitoisuuksiensa osalta samantyyppistä ympäristöä kuin Linja-autoaseman asema.



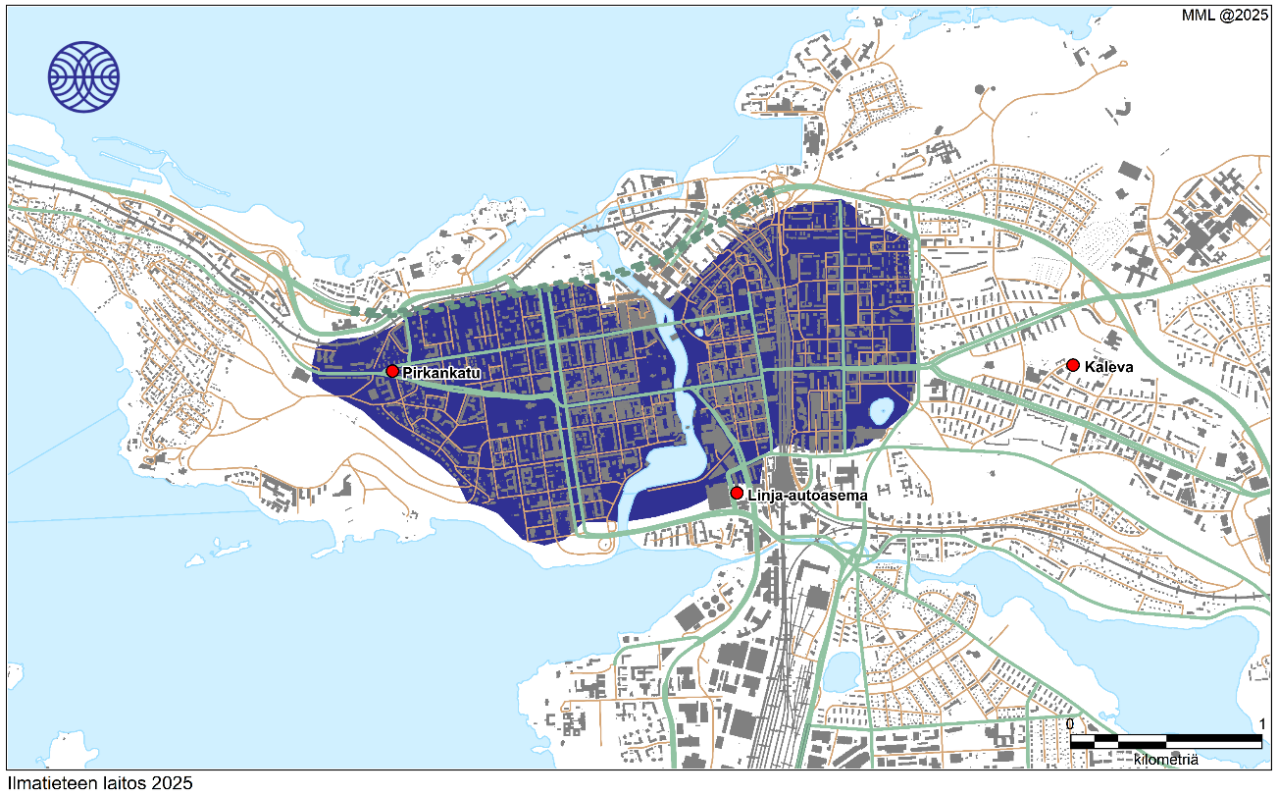
Kuva 50. Pirkankadun mittausaseman pitoisuusruusut vuosien 2021–2023 mittauksen perusteella. Sektorit esittävät kyseiseltä ilmansuunnalta puhaltaneiden tuulten aikana mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa. Oranssi ympyrä esittää tyynissä olosuhteissa mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa (tuulen nopeus alle 0,5 m/s).

Kuvassa 51 on esitetty Pirkankadun ja Linja-autoaseman mittausasemien yhteinen edustavuusalue pienhiukkasten mittausten suhteen. Asemien edustavuusalueet on yhdistetty, sillä pienhiukkasten päästöt ovat alhaisia koko keskustan alueella, ja koska leviämisympäristö on samantyyppinen. Edustavuusalue kattaa koko keskustan ruutukaava-alueen. Tämän lisäksi edustavuusalue on ulotettu kattamaan myös keskustan eteläpuolella olevat teollisuusalueet, sillä niiden katsottiin olevan leviämisympäristöltään samantyyppisiä Linja-autoaseman mittausaseman ympäristön kanssa.



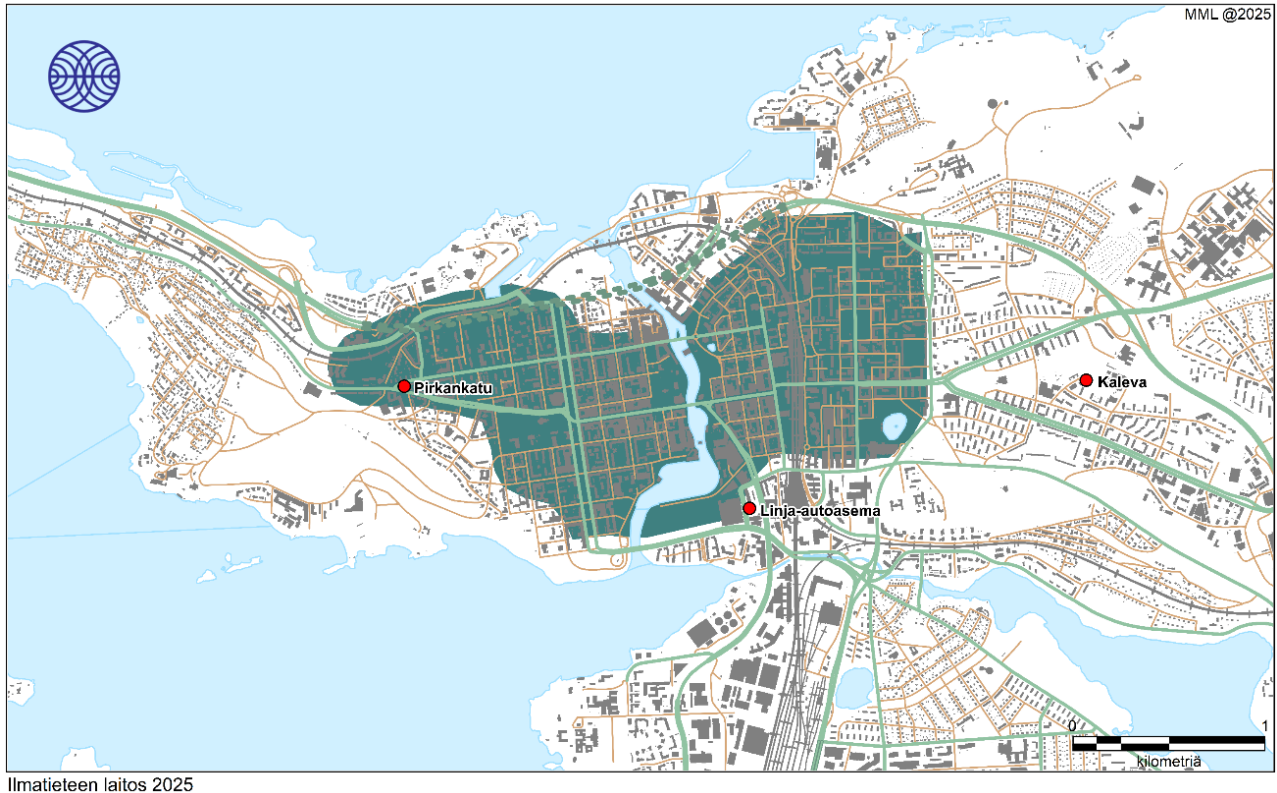
Kuva 51. Pirkankadun ja Linja-autoaseman mittausasemien yhteinen edustavuusalue pienhiukkasten mittausten suhteen.

Kuvassa 52 on esitetty Pirkankadun mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten mittausten suhteen. Alue on rajattu hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien ja samankaltaisen leviämisympäristön perusteella. Edustavuusalue kattaa suurimman osan keskustan ruutukaava-alueesta, muttei ulotu Linja-autoaseman mittausasemalle asti korkeiden pitoisuuksien vuoksi.



Kuva 52. Pirkankadun mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten mittausten suhteen.

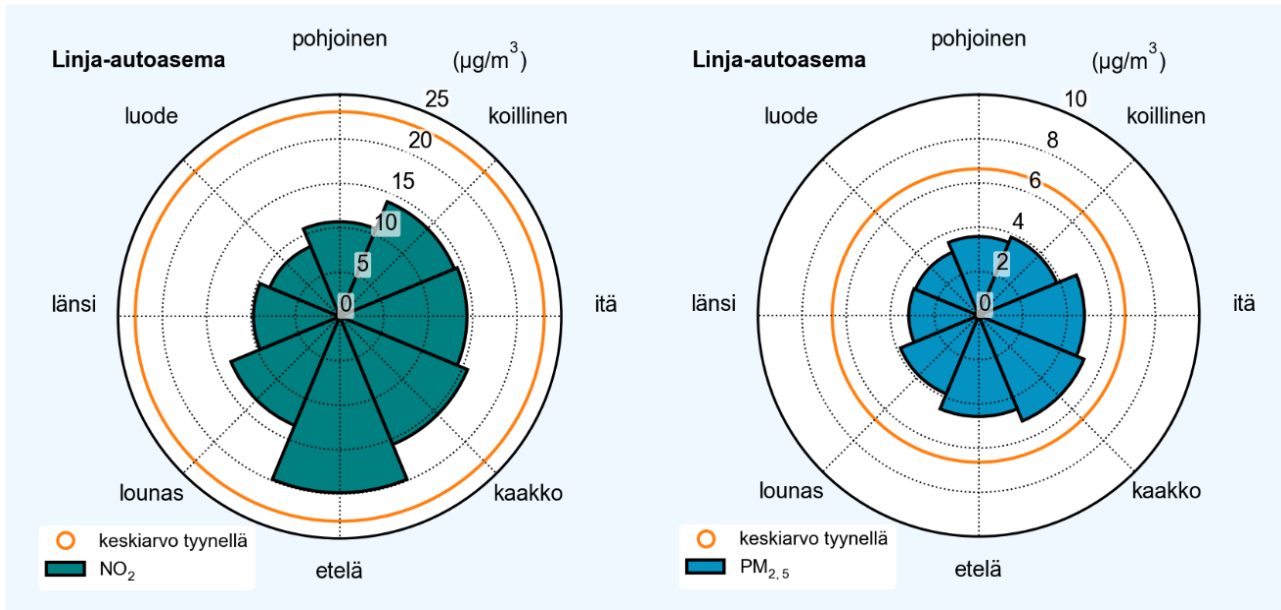
Kuvassa 53 on esitetty Pirkankadun mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin mittausten suhteen. Alue on pitkälti yhtenevä hengitettävien hiukkasten edustavuusalueen kanssa.



Kuva 53. Pirkankadun mittausaseman edustavuusalue typidioksidin mittauksen suhteen.

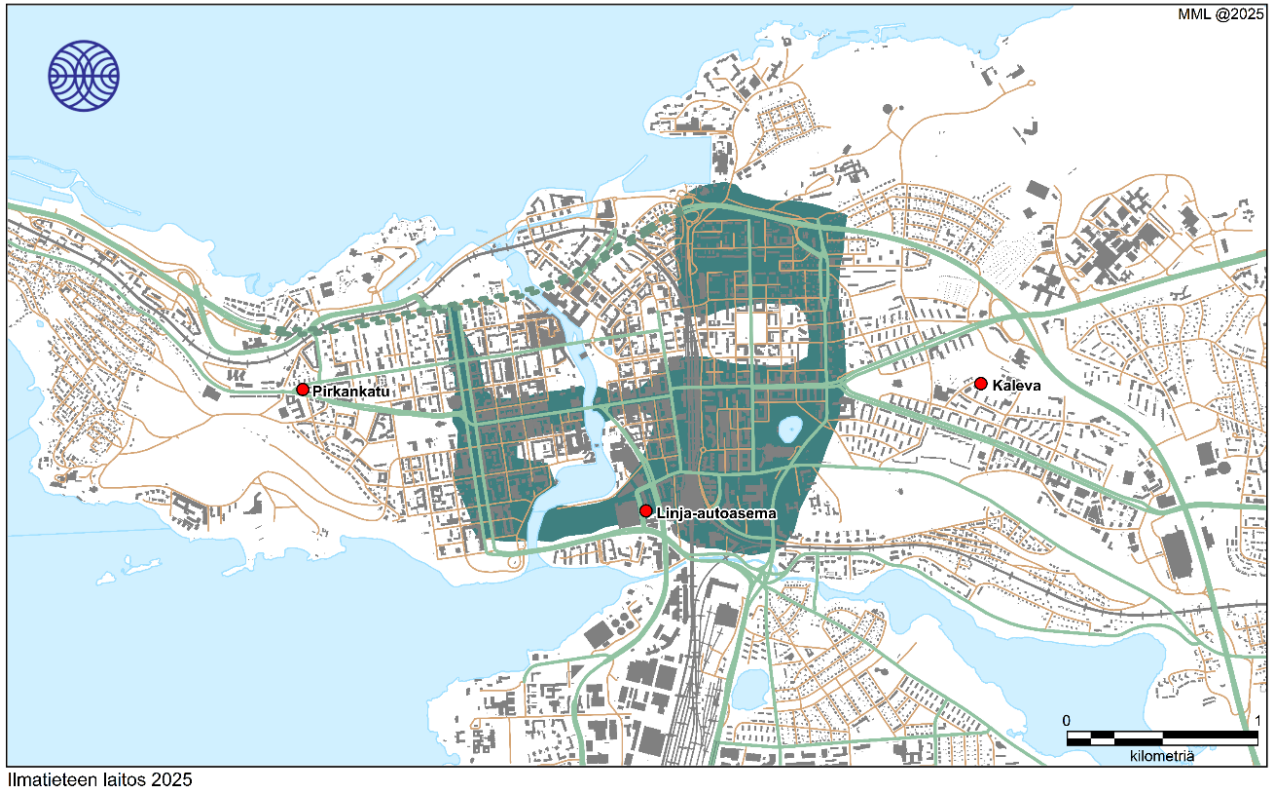
9.2.3 Linja-autoasema

Linja-autoaseman mittausasema sijaitsee asemarakennuksen katolla sen lounaisreunalla liikenteellisesti vilkkaassa ympäristössä, lähellä Ratinan stadionia ja Nokia Arena. Aseman mitatut ja mallinnetut NO₂-vuosikeskiarvopitoisuudet ovat korkeimpia kaikista Tampereen asemista. Korkeimmat NO₂-pitoisuudet mitattiin asemalla tuulen puhaltaessa etelästä Tampereen valtatie suunnalta (kuva 54). Itäpuolella sijaitsevan Hatanpään valtatie liikennemäärä vuonna 2019 oli 8860 ajoneuvoa/vrk (*Tampereen kaupunki, 2024*). Liikenteellä voidaan siis katsoa olevan voimakas vaikutus asemalla mitattuihin NO₂-pitoisuuksiin (kappale 3). Asemaa ei silti voida luokitella liikenneasemaksi, sillä se sijaitsee yli 10 metrin etäisyydellä lähimmän tien ajoradasta. Se ei myöskään sovellu kaupunkitausta-asemaksi, sillä lainsäädännössä (Vna 79/2017) edellytetään, ettei minkään yksittäisen päästölähteen vaikutus aseman alueen pitoisuuksiin saisi olla hallitseva. Läheisten valtateiden vaikutus aseman pitoisuuksiin on kuitenkin merkittävä. Näytteenottokorkeudeksi on ilmoitettu 6 metriä, mikä on enemmän kuin lainsäädännössä suositeltu enimmäiskorkeus 4 metriä (Vna 79/2017). Pienhiukkasten suhteen tuulen suunnalla ei ole merkittävää vaikutusta asemalla mitattuihin pitoisuuksiin, mikä on odotettavaa, sillä aseman lähistöllä ei ole merkittäviä pienpolton päästöjä. Lähipäästölähteillä on voimakas vaikutus asemalla mitattuihin pitoisuuksiin.



Kuva 54. Linja-autoaseman mittausaseman pitoisuusruusut vuosien 2021–2023 mittausten perusteella. Sektorit esittävät kyseiseltä ilmansuunnalta puhaltaneiden tuulten aikana mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa. Oranssi ympyrä esittää tyynissä olosuhteissa mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa (tuulen nopeus alle 0,5 m/s).

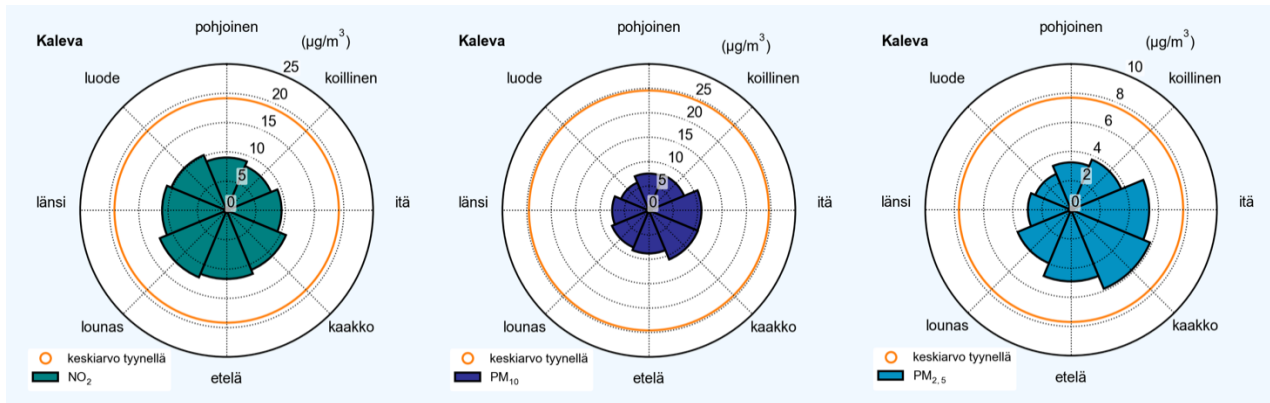
Kuvassa 55 on esitetty Linja-autoaseman mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin mittausten suhteen. Alue on osittain päällekkäinen Pirkankadun aseman vastaavan edustavuusalueen kanssa, mutta Linja-autoaseman ympäristön korkeammista pitoisuuksista johtuen se seuraa enemmän keskustan vilkkaimpia teitä.



Kuva 55. Linja-autoaseman mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin mittauksen suhteen.

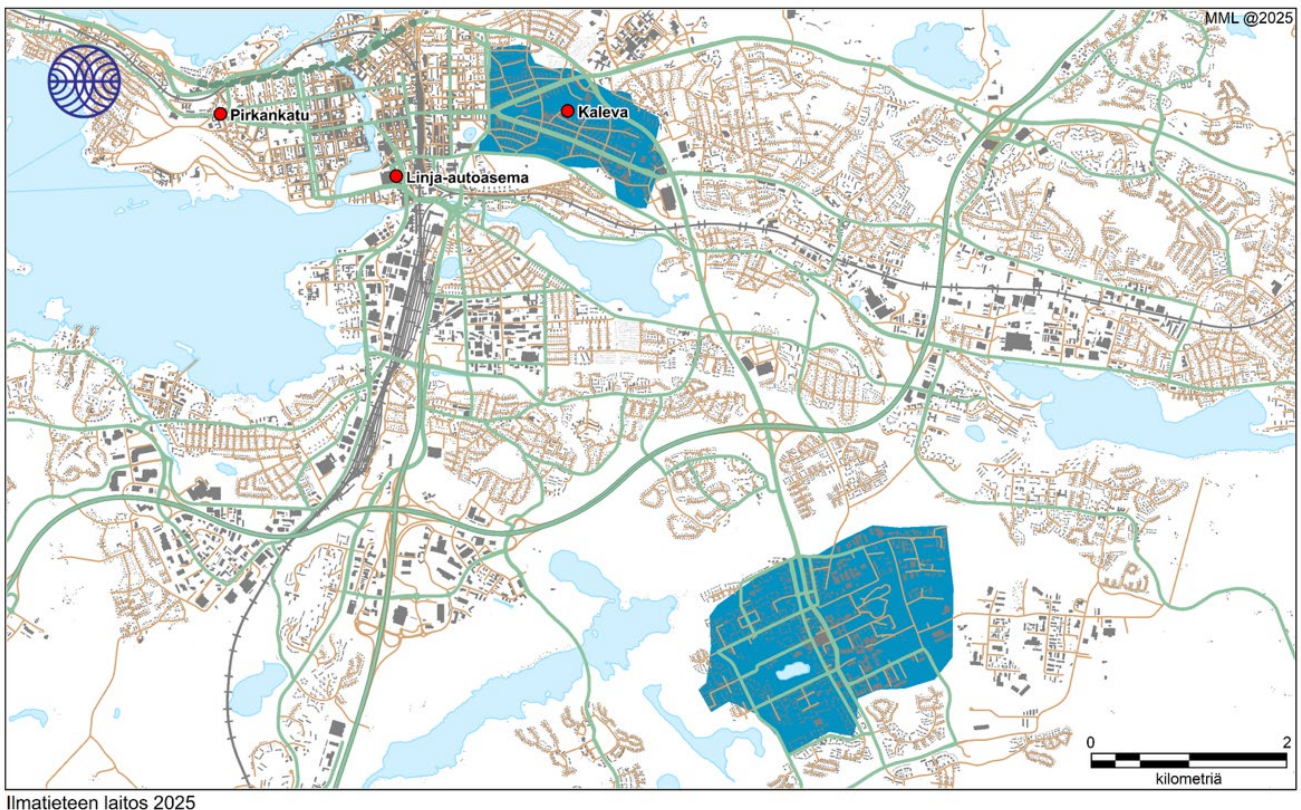
9.2.4 Kaleva

Kalevan mittausasema sijaitsee Tampereen keskustan ruutukaava-alueen itäpuolella puistomaisessa ympäristössä. Aseman pienhiukkaspitoisuudet ovat alhaisia, minkä lisäksi hengitettävien hiukkasten ja typpidioksidin mitatut ja mallinnetut pitoisuudet ovat alhaisimpia kaikista asemista. Liikenteen vaikutus asemalla mitattuihin pitoisuuksiin on vähäisin kaikista Tampereen asemista (kappale 3), eikä sen välittömässä läheisyydessä ole muitakaan suuria päästölähteitä. Tämä näkyy myös aseman typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuusruusuista (kuva 56), jotka eivät riipu merkittävästi tuulen suunnasta. Pienhiukkasten pitoisuuksissa painottuu hieman kaakon suunta, jossa sijaitsee jonkin verran pientaloasutusta. Lähipäästölähteillä on voimakas vaikutus asemalla mitattuihin pitoisuuksiin. Näiden seikkojen vuoksi asema soveltuu hyvin kaupunkitausta-asemaksi.



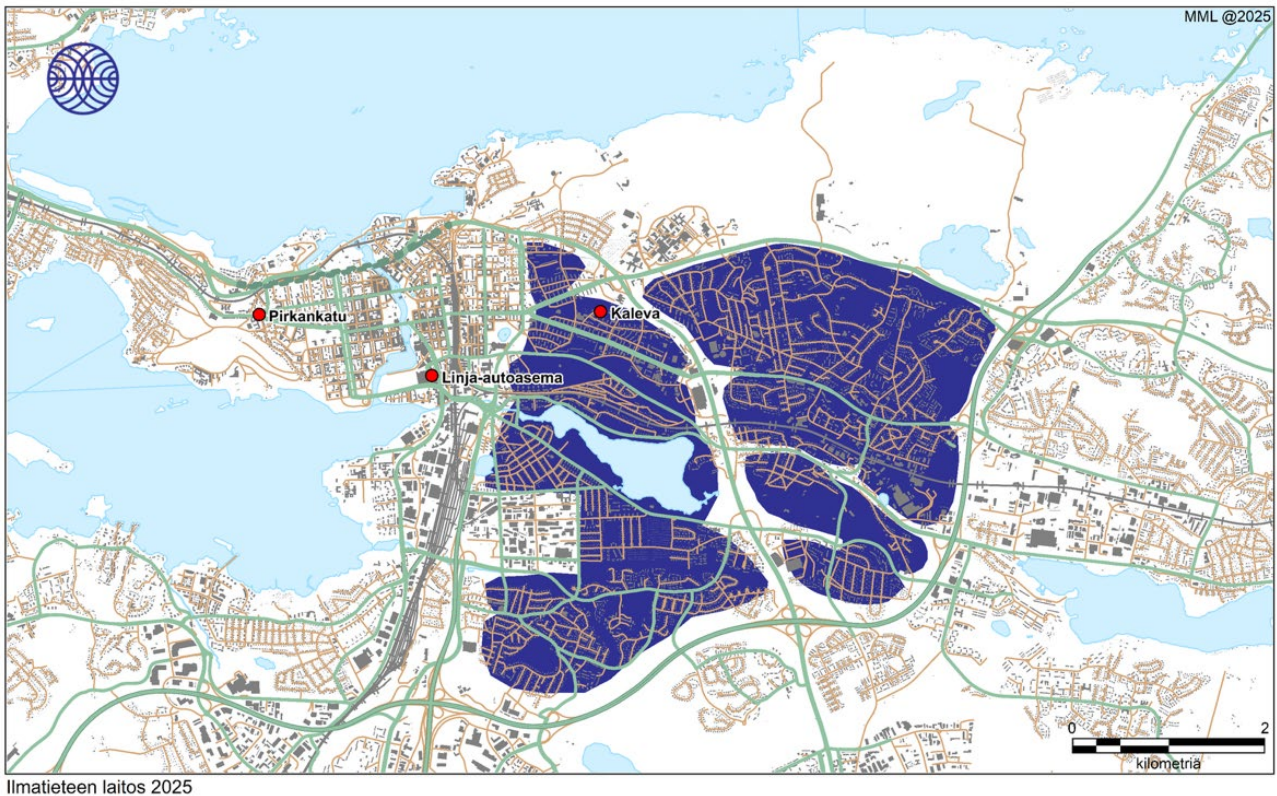
Kuva 56. Kalevan mittausaseman pitoisuusruusut vuosien 2021–2023 mittauksen perusteella. Sektorit esittävät kyseiseltä ilmansuunnalta puhaltaneiden tuulten aikana mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa. Oranssi ympyrä esittää tyynissä olosuhteissa mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa (tuulen nopeus alle 0,5 m/s).

Kuvassa 57 on esitetty Kalevan mittausaseman edustavuusalue pienhiukkasten mittauksen suhteen. Alue on epäjatkuva, sillä myös Hervannan pohjoisosan katsottiin vastaavan rakennetulta ympäristöltään ja pienhiukkasten päästöiltään Kalevan mittausaseman ympäristöä. Molemmat valituista alueista ovat puistomaisia, kerrostalovaltaisia kaupunginosia, joissa pienpolton pienhiukkaspäästöt ovat vähäisiä. Etelä- ja Itä-Hervanta rajattiin edustavuusalueen ulkopuolelle, sillä niiden alueella arvioidaan olevan jonkin verran pienhiukkaspäästöjä.



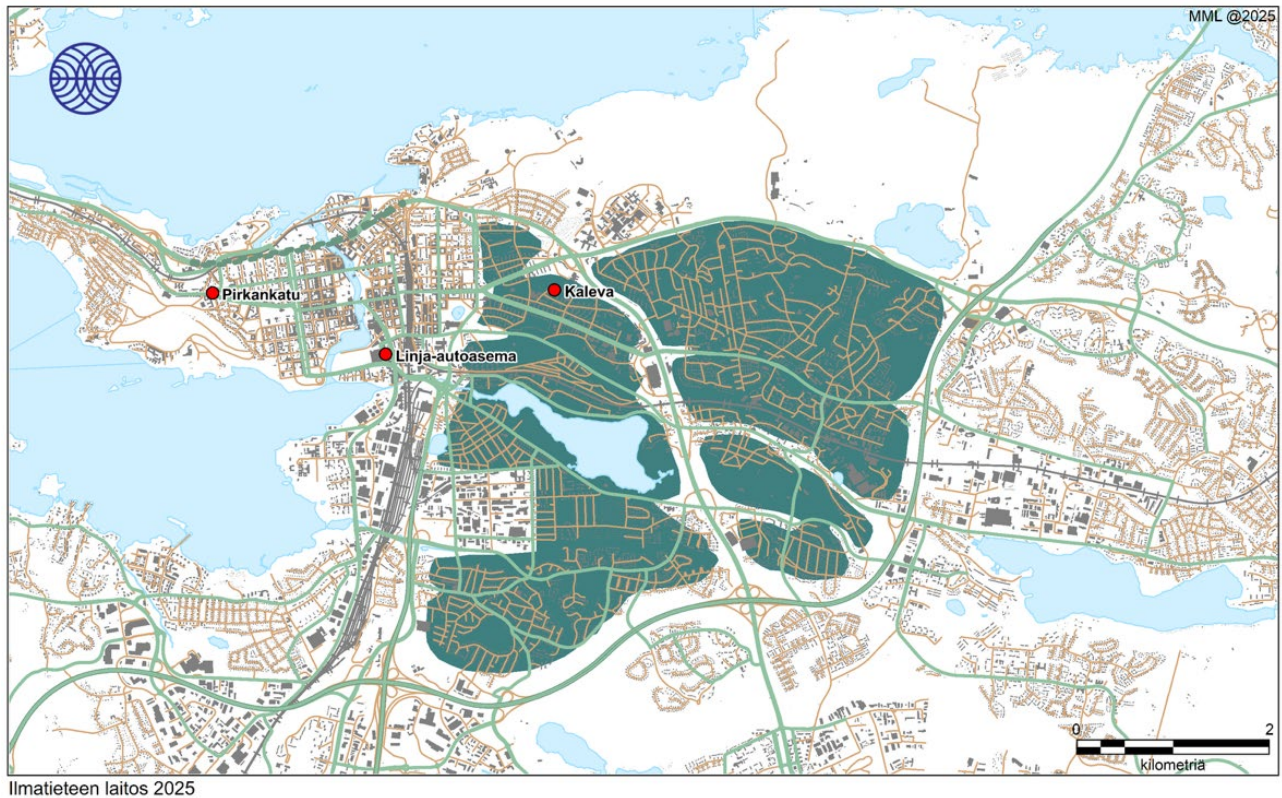
Kuva 57. Kalevan mittausaseman edustavuusalue pienhiukkasten mittauksen suhteen.

Kuvassa 58 on esitetty Kalevan mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten mittausten suhteen. Myös tämä edustavuusalue on epäjatkuva, sillä aseman ympäristöä vastaavat pitoisuudet ja leviämisympäristö jatkuvat Hervannan valtaväylän itäpuolella. Liikenne on merkittävä hengitettävien hiukkasten lähde. Tästä johtuen Hervannan valtaväylä rajautuu edustavuusalueen ulkopuolelle, sillä sen varrella pitoisuudet nousevat liian korkeiksi suhteessa mittausasemaan. Nekalan teollisuusalue rajattiin edustavuusalueen ulkopuolelle, sillä sen katsottiin poikkeavan leviämisympäristönä mittausaseman ympäristöstä.



Kuva 58. Kalevan mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten mittausten suhteen.

Kuvassa 59 on esitetty Kalevan mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin mittausten suhteen. Alue muistuttaa paljon hengitettävien hiukkasten edustavuusaluetta, sillä molempien ilmansaasteiden mallinnettu alueellinen jakauma on samantyyppinen. Liikenne on molempien ilmansaasteiden merkittävä lähde. Aluetta määritettäessä otettiin niin ikään huomioon samantyyppinen leviämisympäristö mittausaseman kanssa.



Kuva 59. Kalevan mittausaseman edustavuusalue typidioksidin mittausten suhteen.

Taulukko 22. Tampereen ilmanlaatuasemien arvioidut edustavuusalueiden pinta-alat eri ilmansaasteille.

Asema	Epäpuhtaus	Pinta-ala [km ²]
Epilä	PM _{2,5}	11,8
	PM ₁₀	7,5
Pirkankatu ja Linja-autoasema	PM _{2,5}	7,3
Pirkankatu	PM ₁₀	3,2
	NO ₂	3,0
Linja-autoasema	NO ₂	2,0
Kaleva	PM _{2,5}	5,7
	PM ₁₀	15,4
	NO ₂	15,2

10 SUOSITUKSET MITTAUSVERKON KEHITTÄMISEEN

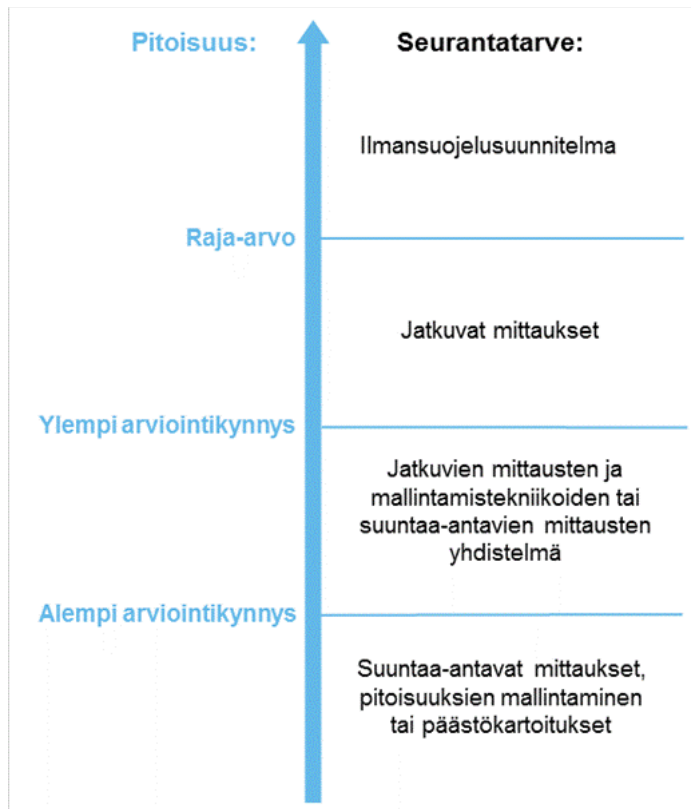
Ilmanlaatuasetuksen (79/2017) mukaan ELY-keskuksen tulee huolehtia siitä, että sen alueella ilmanlaadun seuranta on järjestetty hyvin, ja että muun muassa mittausasemien määrä on riittävä niillä seuranta-alueilla, joilla jatkuvat mittaukset ovat pakollisia. ELY-keskusten tehtävänä on ohjata seurantaan yleisellä tasolla, aktivoida ja kannustaa kuntia yhteistyöhön sekä tehdä ehdotuksia seurannan järjestämiseksi lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä. Tampere kuuluu Pirkanmaan ELY-keskuksen seuranta-alueeseen, johon kuuluvat Tampereen lisäksi mm. Nokian, Kangasalan, Ylöjärven, Sastamalan ja Valkeakosken kaupungit.

Kunnat vastaavat ilmanlaadun seurannan toteutuksesta, koska ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan kunta on velvollinen huolehtimaan paikallisten olojen edellyttämästä tarpeellisesta ympäristön tilan seurannasta. Ilmanlaadun seuranta voidaan toteuttaa myös useiden kuntien välisenä yhteistyönä.

Tampereella ilmanlaatua seurataan ilmanlaatuasetuksen mukaisilla ilmanlaadun seurantamenetelmillä neljällä mittausasemalla mittaamalla hengitettävien hiukkasten (PM_{10}), pienhiukkasten ($PM_{2.5}$), typen oksidien ja otsonin pitoisuuksia) ja päästöjen leviämismallilaskelmien avulla. Edellä mainittujen lisäksi seurataan suuntaa-antavien mittauksin sensoreilla ultrapienien hiukkasten keuhkodepositoivaa pinta-alaa ja lukumääräpitoisuutta. Ilmanlaadun seuranta toteutetaan ilmanlaadun yhteistarkkailusopimuksessa mukana olevien energiantuotanto- ja teollisuuslaitosten kanssa. Seurannan toteuttaa kaupungin ympäristönsuojeluyksikkö. (*Tampereen kaupunki, 2024*).

Ilmanlaatuasetus määrittelee, milloin ilmanlaadun mittaukset ovat tarpeen seuranta-alueella. Mittaustarvetta arvioidaan vertaamalla seuranta-alueen pitoisuuksia asetuksissa määriteltyihin ylempiin ja alempiin arviointikynnyksiin, Ilmanlaatuasetuksessa määritellyt ylemmät ja alemmat arviointikynnykset eri ilman epäpuhtauksille on esitetty Taulukko 23.

Jos seuranta-alueen pitoisuudet ylittävät ilmanlaatuasetuksissa määritellyn ylemmän arviointikynnyksen pitoisuustason, ovat jatkuvat mittaukset ensisijainen ilmanlaadun seurantamenetelmä. Seuranta-alueen pitoisuuksien alittaessa ylemmän arviointikynnyksen pitoisuustason, on jatkuvien mittausten tarve vähäisempi ja arvioinnissa voidaan käyttää jatkuvien mittausten ja mallintamistekniikoiden tai suuntaa-antavien mittausten yhdistelmää, jotta saadaan riittävästi tietoa ilmanlaadun alueellisesta jakautumisesta. Pitoisuuksien alittaessa alemman arviointikynnyksen ovat suuntaa-antavat mittaukset, pitoisuuksien mallintaminen, päästökartoitukset tai muut vastaavat menetelmät kuten esimerkiksi satelliittihavainnot riittävä menetelmä ilmanlaadun arvioimiseksi (Kuva 60).



Kuva 60 Ilmanlaadun seurantatarve seuranta-alueella määräytyy mitattujen pitoisuuksien suhteesta ylempään ja alempaan arviointikynnykseen. Seurantatarve kasvaa pitoisuuksien kasvaessa.

Tämän selvityksen tulosten perusteella Tampereen alueella ylittyvät nykytilanteessa typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten ylempät arviointikynnykset, kun taas pienhiukkasten osalta arviointikynnykset alittuvat. Ylemmän arviointikynnyksen ylittyessä ilmanlaatua on seurattava kyseisellä seuranta-alueella kiinteillä ilmanlaatuasemilla, joiden vähimmäismäärä riippuu kyseisen seuranta-alueen asukasluvusta. Tampere kuuluu Pirkanmaan seuranta-alueeseen, jonka asukasluku ylittää 500 000. Pirkanmaan kokoisella alueella typpidioksidimittauksiin vaadittava asemien vähimmäislukumäärä on kaksi, ja hengitettävien hiukkasten mittausten kolme (PM_{2,5} ja PM₁₀ yhteensä). Tampereen mittausasemien lukumäärä näiden ilmansaasteiden mittausten osalta ylittää tällä hetkellä tämän vähimmäismäärän.

Myös vuonna 2021 tehdyn Ilmanlaatu Suomessa selvityksen mukaan Pirkanmaan seuranta-alueen kiinteiden ilmanlaadun mittausasemien lukumäärä oli riittävä (Komppula ym., 2021). Huomionarvoista on, että ilmanlaatuasetuksen mukainen vähimmäismittausvelvoite ilmanlaadun mittausasemien määrälle on määritetty yleiselle epäpuhtauspitoisuuksille altistumisen arviointiin. Asemien vähimmäismäärässä ei ole mukana energiantuotanto- tai teollisuuslaitosten ilmanlaadun vaikutustarkkailun edellyttämiä asemia. Suomessa tyypillistä on, että ilmanlaadun seuranta toteutetaan yhteistarkkailuna siten, että teollisuus- ja energiantuotantotoimijat ovat mukana kaupungin toteuttamassa ilmanlaadun tarkkailussa, jolloin tarvittavien mittausasemien lukumäärä voi olla suurempi kuin ilmanlaatulainsäädännön edellyttämä minimimäärä mittausasemille.

Taulukko 23. Nykylainsäädännön mukaiset ilmansaasteiden ilmanlaatonormit ja arviointikynnykset.

		Raja-arvo tai kriittinen taso		Ylempi arviointikynnys		Alempi arviointikynnys	
Typidioksidi (NO₂) (µg/m³)		Raja-arvo					
1 tunti (saa ylittyä 18 krt/vuosi)		200		140	(70 %)	100	(50 %)
kalenterivuosi		40		32	(80 %)	26	(65 %)
Typen oksidit (NO_x) (µg/m³) ¹⁾		Kriittinen taso					
kalenterivuosi		30		24	(80 %)	19,5	(65 %)
Hengitettävät hiukkaset (PM₁₀) (µg/m³)		Raja-arvo					
24 tuntia (saa ylittyä 35 krt/vuosi)		50		35	(70 %)	25	(50 %)
vuosi		40		28	(70 %)	20	(50 %)
Pienhiukkaset (PM_{2,5}) (µg/m³)		Raja-arvo					
kalenterivuosi		25		17	(70 %)	12	(50 %)
Bentso(a)pyreeni (BaP) (ng/m³)		Tavoitearvo					
kalenterivuosi		1		0,6	(60 %)	0,4	(40 %)

Mittausasemien edustavuuden arvioinnin perusteella nykyisen ilmanlaadun asemaverkon edustavuus on Tampereella hyvä. Yllä lueteltujen tulosten perusteella Tampereella ei ole tarvetta uusille hengitettäviä hiukkasia, pienhiukkasia tai typen oksideita mittaaville asemille. Sen sijaan nykyistä asemien sijoittelua voidaan tarkastella ja optimoida. Linja-autoaseman mittausaseman edustavuusalueiden voidaan arvioida olevan pitkälti päällekkäiset Pirkankadun aseman edustavuusalueiden kanssa, minkä lisäksi kyseinen asema sijaitsee epätyypillisellä paikalla rakennuksen katolla. Liikenteellisesti vilkkaasta sijainnistaan huolimatta se ei täytä liikenneaseman edellytyksiä (etäisyys ajoradasta yli 10 m, mittauskorkeus 1,5–4m), muttei toisaalta vastaa myöskään kaupunkitausta-aseman asematyyppiä (läheiset kadut ja linja-autoasema).

Epilän asema puolestaan sijaitsee pientaloalueella, mutta alueen pienhiukkas- ja bentso(a)pyreenipitoisuudet eivät edusta korkeimpien B(a)P pitoisuuksien pientaloalueita, joilla kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöt ovat suurimpia. Lähellä sijaitsevan Pispalan valtatie vuoksi aseman edustavuusalueet pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten suhteen ovat lisäksi varsin erilaiset. Asema täyttää kuitenkin ainoana Tampereen ilmanlaatuasemista liikenneaseman kriteerit (etäisyys ajoradasta alle 10 m).

Kalevan kaupunkitausta-aseman edustavuusalueet ovat laajimmat, kuten kaupunkitausta-asemalla kuuluukin olla, eikä sen läheisyydessä ole merkittäviä päästölähteitä. Se soveltuu siis hyvin kaupunkitausta-asemaksi kuvaamaan asukkaiden altistumista kaupunkiympäristön epäpuhtauspitoisuuksille.

Pirkankadun aseman edustavuusalueet puolestaan kattavat koko kaupungin ydinkeskusta-alueen. Pirkankadun ja Kalevan asemien edustavuusalueet ovat varsin yhtenäiset eri yhdisteiden välillä. Näiden asemien paikkaa ei siten ole syytä muuttaa, paitsi jos Pirkankadun aseman halutaan täyttävän liikenneaseman kriteerit (nykyinen etäisyys ajoradasta ylittää 10 m). Liikenteellisesti Pirkankadun asema sijaitsee vilkaassa ympäristössä.

Leviämismallinnuksen tulosten perusteella bentso(a)pyreenipitoisuuden tavoitearvo 1 ng/m^3 ylittyy Tampereella vain joillain pientaloalueilla. Ylempi arviointikynnys ($0,6 \text{ ng/m}^3$) ylittyy laajalti ja alempi arviointikynnys ($0,4 \text{ ng/m}^3$) koko kaupungin alueella. Korkeimmat mallinnetut pitoisuudet sijoittuvat Nekalan siirtolapuutarhan alueelle. Tässä ilmanlaatuselvityksessä tehtyjen leviämismallilaskelmien ja muilla paikkakunnilla tehtyjen PAH-mittausten perusteella bentso(a)pyreenin pitoisuustasojen kartoittamista joko kampanjaluonteisesti vuoden mittauskampanjalla, siirrettävällä asemalla tai uudella pysyvällä asemalla on suositeltavaa harkita.

Pitoisuuksien vertaaminen ilmanlaadun raja-arvoihin sekä ylempiin ja alempiin arviointikynnyksiin edellyttää, että mittauksia tehdään koko kalenterivuoden ajan, koska raja-arvotarkasteluissa vertailujakso on yksi kalenterivuosi. Lyhyempien mittausjaksojen kohdalla vertailua voidaan tehdä ainoastaan suuntaa-antavasti. Lyhyemmällä mittausjaksolla pitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelu voi myös osaltaan vääristää saatua tulosta.

Euroopan komission päivitetyn ilmanlaatudirektiivin myötä ilmanlaatulainsäädäntö tulee tiukkenemaan nykyisestä vuodesta 2030 lähtien. Vuosiraja-arvojen osalta voidaan sanoa, että pienhiukkasten uusi vuosiraja-arvo ($10 \mu\text{g/m}^3$) ei ylitä nykytilanteessa eikä ennustetussa tilanteessa vuonna 2040. Hengitettävien hiukkasten osalta uusi vuosiraja-arvo ($20 \mu\text{g/m}^3$) ylittyy nykytilanteessa ja vuoden 2040 ennustetussa tilanteessa vain Lakalaivan liittymän alueella. Typpidioksidin osalta uusi vuosiraja-arvo ($20 \mu\text{g/m}^3$) ylittyy nykytilanteessa vain Lakalaivan liittymän alueella, eikä vuoden 2040 ennustetussa tilanteessa ylitä missään kaupungin alueella. Lisäksi bentso(a)pyreenille asetetaan uudessa direktiivissä vuosiraja-arvo ($1,0 \text{ ng/m}^3$), joka on yhtä desimaalia tarkempi kuin nykyinen tavoitearvo. Tämä uusi raja-arvo ylittyy nykytilanteessa laajalti Tampereen kaupungin alueella.

Vuonna 2030 voimaan tuleva ilmanlaatulainsäädäntö sisältää kullekin yhdisteelle yhden arviointikynnyksen nykyisten kahden, ylemmän ja alemman arviointikynnyksen sijaan. Arviointikynnyksen avulla arvioidaan seurantatarvetta yhdisteille, joille on asetettu vuosiraja-arvo. Kynnykset on esitetty taulukossa 24.

Tämän mallinnuksen perusteella Tampereella ylittävät sekä nykytilanteessa että ennustetussa tilanteessa vuonna 2040 pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten ja typpidioksidin uudet arviointikynnykset (kuvat 7, 12 ja Kuva 17). Ylitukset keskittyvät lähinnä Valtateiden 3 ja 9 risteysalueelle Lakalaivan liittymään ja suurten teiden läheisyyteen. Arviointikynnysten ylittyessä seuranta-alueella tulee seurata ilmanlaatua kiinteillä ilmanlaadun mittauksilla. Mittausasemien vähimmäismäärä määritetään arviointikynnyksen ylitymisen ja seurantaalueen asukasluvun perusteella. Pirkanmaan seuranta-alueella vaadittavien kiinteiden mittausasemien vähimmäislukumäärä pienhiukkas-, hengitettävien hiukkasten ja typpidioksidimittauksissa on uuden ilmanlaatudirektiivin mukaan kaksi kiinteää mittausasemaa. Koska Tampereen alueen mittausasemien lukumäärä näiden mittausten osalta ylittää jo tämän vähimmäismäärän, ei alueella (tai Pirkanmaalla yleisesti) ole tämän selvityksen perusteella tulevaisuudessa tarvetta uusille mittausasemille uuden direktiivin astuessa voimaan.

Bentso(a)pyreenin osalta pitoisuudet ylittävät nykytilanteessa selvästi nykyisen (ja vuonna 2030 voimaan astuvan) arviointikynnyksen koko Tampereen alueella. Tampere on pääkaupunkiseudun ulkopuolella suurin yksittäinen väestökeskittymä, minkä vuoksi olisi suositeltavaa arvioida B(a)P pitoisuuksia Tampereen pientaloalueella vähintään vuoden mittauskampanjalla.

Taulukko 24. EU:n uuden ilmanlaatudirektiivin mukaiset ilmansaasteiden vuosikeskiarvopitoisuuksiin perustuvat arviointikynnykset.

Ilmansaaste	Arviointikynnys [µg/m ³]
PM _{2,5}	5
PM ₁₀	15
NO ₂	10
BaP	0,3 ng/m ³

VIITELUETTELO

Anttila, P., Tuovinen, J-P. ja Niemi, J., 2011. Primary NO₂ emissions and their role in the development of NO₂ concentration in a traffic environment. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 986–992.

EEA, 2024. Exceedance of air quality standards in Europe. Published 09 Apr 2025. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/exceedance-of-air-quality-standards>

EEA, 2017. Exhaust emissions from road transport. Kappale teoksessa: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, last update June 2017. EEA Report No 21/2016. European Environment Agency, Denmark. ISBN 978-92-9213-806-6

Elsilä, A., 2024. Tampereen ilmanlaatu 2023. Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset. Tampereen kaupunki, ympäristönsuojelun julkaisuja 1/2024. ISBN 978-952-371-081-8. https://www.tampere.fi/sites/default/files/2024-05/tampereen_ilmanlaatu_2023.pdf

Elsilä, A., 2025. Tampereen ilmanlaatu 2024. Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset. Tampereen kaupunki, ympäristönsuojelun julkaisuja 1/2025. ISBN 978-952-371-101-3

European Union, 2024. Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europa. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng>

FAIRMODE, 2025. Guidance Document on the estimation of spatial representativeness. https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/document/fairmode/WG8/WG8_Guidance_Document_Spatial_Representativeness_VS4.pdf

Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I., 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf

Härkönen, J., Nikmo, J., Karppinen, A., and Kukkonen, J., 2001. A refined modelling system for estimating the emissions, dispersion, chemical transformation and dry deposition of traffic-originated pollution from a road. In: Cuvelier, C. et al., Seventh International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italy, pp. 311-313.

Ilmatieteen laitos, 2024. Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittaustiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta, lisäksi sivustolla teematietoa ilmansaasteista: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

Kauhaniemi, M., Kukkonen, J., Härkönen, J., Nikmo, J., Kangas, L., Omstedt, G., Ketzel, M., Kousa, A., Haakana, M. and Karppinen, A., 2011. Evaluation of a road dust suspension model for predicting the concentrations of PM₁₀ in street canyon in Helsinki. *Atmospheric Environment*, 45, 3646-3654.

Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998. *A dispersion modelling system for urban air pollution. Ilmansuojelun julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.*

Karppinen, A., 2001. Meteorological pre-processing and atmospheric dispersion modeling of urban air quality and applications in the Helsinki metropolitan area. Academic dissertation. Finnish Meteorological Institute, Contributions No. 33, Helsinki.

Komppula, B., Karppinen, T., Virta, H., Sundström, A-M., Ialongo, I., Korpi, K., Anttila, P., Salmi, J., Tamminen, J. ja Lovén, K., 2021. Ilmanlaatu Suomessa ilmanlaatumittausten ja satelliittihavaintojen perusteella. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2021:6, Helsinki.

Korhonen, S., Loukkola, K. ja Portin, H., 2025. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2014 – Vuosiraportti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä. ISBN 978-952-7146-97-2.

Moilanen, P., Honkatukia, J., Rinta-Piirto, J., Räikkönen, A. ja Sirkiä, A., 2024. Valtakunnalliset liikenneennusteet 2024. Traficom. Traficom tutkimuksia ja selvityksiä 8/2024.

Omstedt, G., Bringelt, B., Johansson, C., 2005. A model for vehicle-induced non-tailpipe emissions of particles along Swedish roads. Atmospheric Environment, Vol. 39, issue 33, 6088–6097.

Rantakrans, E., 1990. Uusi menetelmä meteorologisten tietojen soveltamiseksi ilman epäpuhtauksien leviämismalleissa. Ilmansuojelu-uutiset 1/90, s. 18–20.

Savolahti, M., Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V.-V., Korhonen, A., Kukkonen, J., Kupiainen, K., Kangas, L., Hänninen, O., Karppinen, A., 2019. Residential wood combustion in Finland: PM_{2.5} emissions and health impacts with and without abatement measures. Int. J. Environ. Res. Public Health 16, 2910. <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/16/2920>

VTT, 2021. Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/>

Vna 79/2017. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Julkaistu 1.2.2017.

Vna 113/2017. Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 16.2.2017.

Vnp 480/1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista. Annettu 19.6.1996.

WHO, 2012. Health effects of black carbon. World Health Organization.

WHO, 2021. WHO Air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. Geneva, World Health Organization.

LIITTEET

Liitekuvaluettelo

Pitoisuuksien aluejakaumakuvat

NO₂ vuosikeskiarvo NYKYTILANNE

1. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO₂ vuosikeskiarvo koko alue
2. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuosikeskiarvo keskusta
3. Autoliikenne NO₂ vuosikeskiarvo koko alue
4. Autoliikenne NO₂ vuosikeskiarvo keskusta
5. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo koko alue
6. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo keskusta
7. Kiinteistökohtainen lämmitys NO₂ vuosikeskiarvo koko alue

NO₂ vuorokausiohjeearvo NYKYTILANNE

8. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus **NO₂ vuorokausiohjeearvo** koko alue
9. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo keskusta
10. Autoliikenne NO₂ vuorokausiohjeearvo koko alue
11. Autoliikenne NO₂ vuorokausiohjeearvo keskusta
12. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo koko alue
13. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo keskusta
14. Kiinteistökohtainen lämmitys NO₂ vuorokausiohjeearvo koko alue

NO₂ vuosikeskiarvo ENNUSTE 2040

15. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO₂ **vuosikeskiarvo** koko alue
16. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuosikeskiarvo keskusta
17. Autoliikenne NO₂ vuosikeskiarvo koko alue
18. Autoliikenne NO₂ vuosikeskiarvo keskusta
19. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo koko alue
20. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuosikeskiarvo keskusta

NO₂ vuorokausiohjeearvo ENNUSTE 2040

21. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ **vuorokausiohjeearvo** koko alue
22. Kaikki päästölähteet+ taustapitoisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo keskusta
23. Autoliikenne NO₂ vuorokausiohjeearvo koko alue
24. Autoliikenne NO₂ vuorokausiohjeearvo keskusta
25. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo koko alue
26. Energiantuotanto ja teollisuus NO₂ vuorokausiohjeearvo keskusta

NO_x vuosikeskiarvo NYKYTILANNE

27. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo koko alue
28. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo keskusta

NO_x vuosikeskiarvo ENNUSTE 2040

29. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo koko alue
30. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus NO_x vuosikeskiarvo keskusta

PM_{2,5} vuosikeskiarvo NYKYTILANNE

31. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} **vuosikeskiarvo** koko alue
32. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo keskusta
33. Autoliikenne PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko alue
34. Autoliikenne PM_{2,5} vuosikeskiarvo keskusta
35. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko alue

- 36. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo keskusta
- 37. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko alue

PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo NYKYTILANNE

- 38. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} **WHO-vuorokausiohjeearvo** koko alue
- 39. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo keskusta
- 40. Autoliikenne PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko alue
- 41. Autoliikenne PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo keskusta
- 42. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko alue
- 43. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo keskusta
- 44. Kiinteistökohtainen lämmitys PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko alue

PM_{2,5} vuosikeskiarvo ENNUSTE 2040

- 45. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} **vuosikeskiarvo** koko alue
- 46. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo keskusta
- 47. Autoliikenne PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko alue
- 48. Autoliikenne PM_{2,5} vuosikeskiarvo keskusta
- 49. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo koko alue
- 50. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} vuosikeskiarvo keskusta

PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo ENNUSTE 2040

- 51. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} **WHO-vuorokausiohjeearvo** koko alue
- 52. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo keskusta
- 53. Autoliikenne PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko alue
- 54. Autoliikenne PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo keskusta
- 55. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo koko alue
- 56. Energiantuotanto ja teollisuus PM_{2,5} WHO-vuorokausiohjeearvo keskusta

PM₁₀ vuosikeskiarvo NYKYTILANNE

- 57. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ **vuosikeskiarvo** koko alue
- 58. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuosikeskiarvo keskusta
- 59. Autoliikenne PM₁₀ vuosikeskiarvo koko alue
- 60. Autoliikenne PM₁₀ vuosikeskiarvo keskusta
- 61. Kiinteistökohtainen lämmitys PM₁₀ vuosikeskiarvo koko alue

PM₁₀ vuorokausiraja-arvo NYKYTILANNE

- 62. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus **PM₁₀ vuorokausiraja-arvo** koko alue
- 63. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiraja-arvo keskusta
- 64. Autoliikenne PM₁₀ vuorokausiraja-arvo koko alue
- 65. Autoliikenne PM₁₀ vuorokausiraja-arvo keskusta
- 66. Kiinteistökohtainen lämmitys PM₁₀ vuorokausiraja-arvo koko alue

PM₁₀ vuorokausiohjeearvo NYKYTILANNE

- 67. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus **PM₁₀ vuorokausiohjeearvo** koko alue
- 68. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiohjeearvo keskusta

PM₁₀ vuosikeskiarvo ENNUSTE 2040

- 69. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ **vuosikeskiarvo** koko alue
- 70. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuosikeskiarvo keskusta
- 71. Autoliikenne PM₁₀ vuosikeskiarvo koko alue
- 72. Autoliikenne PM₁₀ vuosikeskiarvo keskusta

PM₁₀ vuorokausiraja-arvo ENNUSTE 2040

- 73. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus **PM₁₀ vuorokausiraja-arvo** koko alue
- 74. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus PM₁₀ vuorokausiraja-arvo keskusta
- 75. Autoliikenne PM₁₀ vuorokausiraja-arvo koko alue

76. Autoliikenne PM₁₀ vuorokausiraja-arvo keskusta

BC vuosikeskiarvo NYKYTILANNE

77. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus BC **vuosikeskiarvo** koko alue
 78. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus BC vuosikeskiarvo keskusta
 79. Autoliikenne BC vuosikeskiarvo koko alue
 80. Autoliikenne BC vuosikeskiarvo keskusta
 81. Kiinteistökohtainen lämmitys BC vuosikeskiarvo koko alue

BC vuosikeskiarvo ENNUSTE 2040

82. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus BC **vuosikeskiarvo** koko alue
 83. Kaikki päästölähteet + taustapitoisuus BC vuosikeskiarvo keskusta
 84. Autoliikenne BC vuosikeskiarvo koko Alue
 85. Autoliikenne BC vuosikeskiarvo keskusta

B(a)P vuosikeskiarvo NYKYTILANNE

86. Kiinteistökohtainen lämmitys B(a)P vuosikeskiarvo koko Alue

Päästöt

87. Autoliikenteen NO_x-päästöt ja KVL koko Alue **NYKYTILANNE**
 88. Autoliikenteen PM_{2,5}-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 89. Autoliikenteen PM₁₀-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 90. Autoliikenteen BC-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 91. Autoliikenteen NO_x-päästöt ja KVL koko Alue **ENNUSTE 2040**
 92. Autoliikenteen PM_{2,5}-päästöt koko Alue **ENNUSTE 2040**
 93. Autoliikenteen PM₁₀-päästöt koko Alue **ENNUSTE 2040**
 94. Autoliikenteen BC-päästöt koko Alue **ENNUSTE 2040**
95. Energiantuotannon ja teollisuuden NO_x-päästöt **NYKYTILANNE** (POISTETTU)
 96. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt **NYKYTILANNE** (POISTETTU)
 97. Energiantuotannon ja teollisuuden NO_x-päästöt **ENNUSTE 2040** (POISTETTU)
 98. Energiantuotannon ja teollisuuden PM-päästöt **ENNUSTE 2040** (POISTETTU)
99. Kiinteistökohtaisen lämmityksen NO_x-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 100. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM_{2,5}-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 101. Kiinteistökohtaisen lämmityksen PM₁₀-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 102. Kiinteistökohtaisen lämmityksen BC -päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**
 103. Kiinteistökohtaisen lämmityksen B(a)p-päästöt koko Alue **NYKYTILANNE**

Mittausasemien edustavuusalueet

104. PM_{2,5} edustavuusalue, Epilän asema
 105. PM_{2,5} edustavuusalue, Pirkankadun ja Linja-autoaseman asemat
 106. PM_{2,5} edustavuusalue, Kalevan asema
107. PM₁₀ edustavuusalue, Epilän asema
 108. PM₁₀ edustavuusalue, Pirkankadun asema
 109. PM₁₀ edustavuusalue, Kalevan asema
110. NO₂ edustavuusalue, Pirkankadun asema
 111. NO₂ edustavuusalue, Linja-autoaseman asema
 112. NO₂ edustavuusalue, Kalevan asema

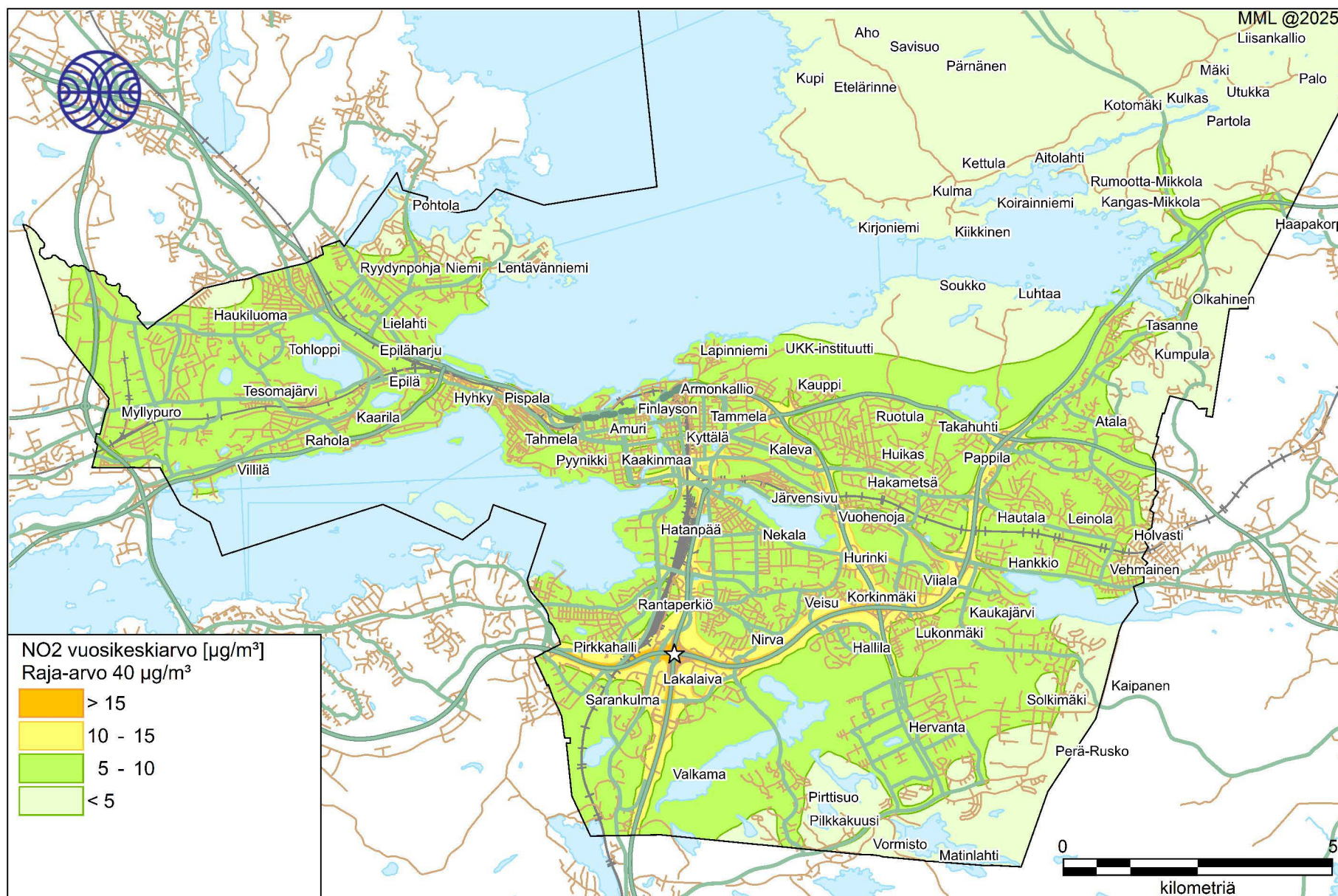
Liitekuvat

Leviämismallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidin, typen oksidien, pienhiukkasten, hengitettävien hiukkasten musta hiilen ja bentso(a)pyreenin pitoisuudet on esitetty seuraavassa karttakuvina, joissa ilman epäpuhtauksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja-, ohje- ja tavoitearvoihin, kriittisiin tasoihin ja WHO:n ohjearvoihin. Raja-arvojen osalta vertailu tehtiin nykyisiin ja vuonna 2030 voimaan tuleviin raja-arvoihin. Karttakuvissa esitetyt pitoisuusjakaumat kuvaavat enimmäispitoisuustasoa ulkoilmassa ihmisten hengityskorkeudella (2 m). Kuvissa on esitetty peräkkäin koko tarkastelualueen kattavat pitoisuuksien tuloskartat ja lähikuvat Tampereen keskustan alueesta.

Karttakuvissa on esitetty värillisinä jakaumina alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä. Vihreän eri sävyillä kuvataan kartoissa hyvää ilmanlaatua ja asteikko jatkuu pitoisuuksien kasvaessa keltaisen ja oranssin sävyjen kautta punaiseen. Kirkkaalla punaisella kuvataan raja- tai ohjearvon ylittymistä. Kartoissa esitetyt pitoisuuksien aluejakaumat eivät edusta koko tutkimusalueella yhtäaikaista vallitsevaa pitoisuustilannetta, vaan ne kuvaavat kuhunkin laskentapisteeseen mallilaskelmissa saatua korkeinta pitoisuutta. Korkeimmat pitoisuudet voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajanhetkinä.

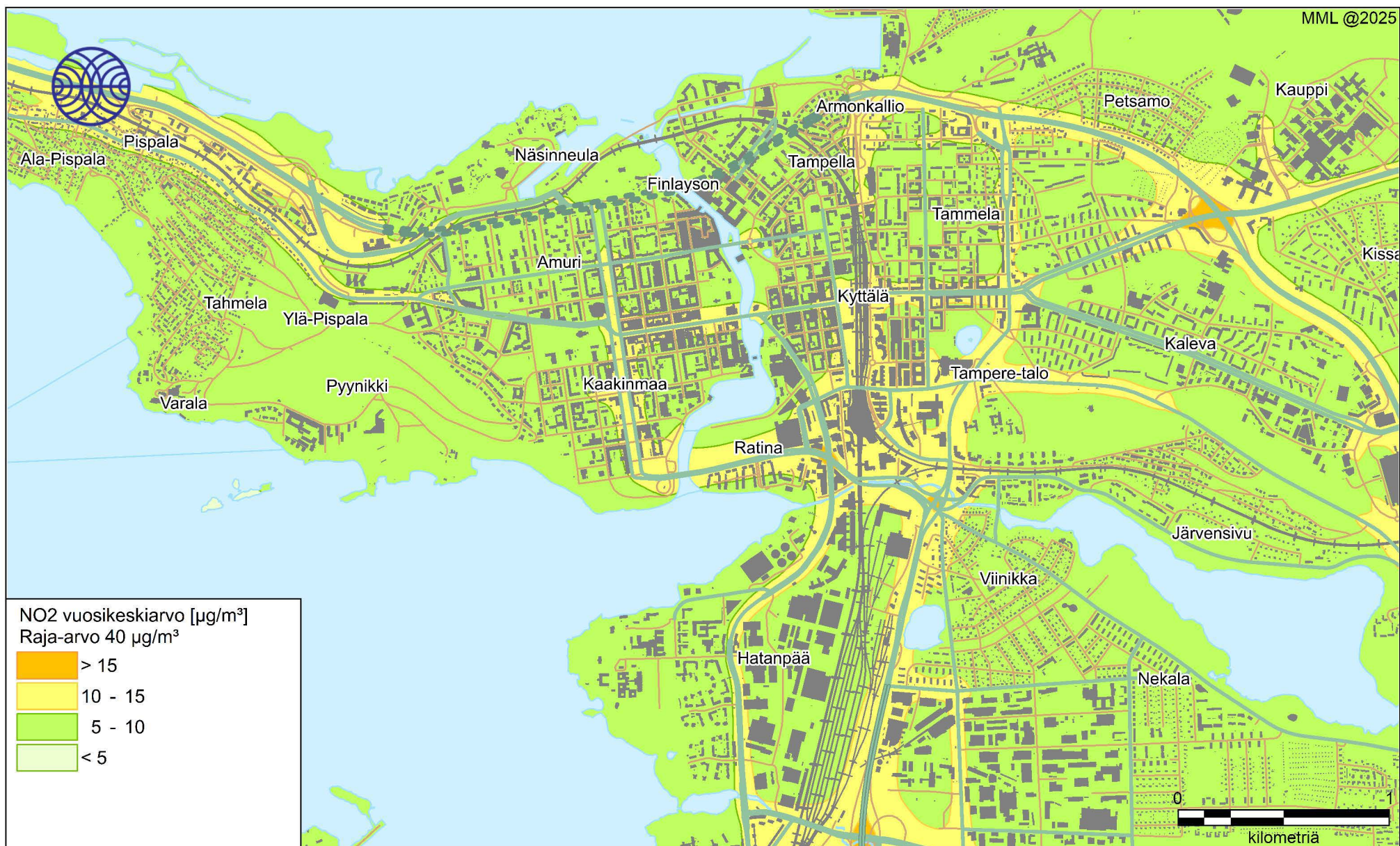
Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa parhaiten. Karttakuvissa esitetyt vuosikeskiarvopitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2021–2023) korkeinta vuosikeskiarvoa kussakin laskentapisteessä. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksien aluejakaumaan vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet. Karttakuvissa esitetyt vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kuvaavat kolmen vuoden tarkastelujakson (vuodet 2021–2023) korkeinta vuorokausiohje- tai raja-arvoon verrannollista pitoisuutta kussakin laskentapisteessä.

Taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Juupajoen Hyytiälän ja HSY:n Espoon Luukissa sijaitsevan taustailmanlaadun mittausaseman tuloksia. Tarkastelujaksolla 2021–2023 typen oksidien taustapitoisuuden keskiarvo oli $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pienhiukkasten $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, otsonin $50,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja mustan hiilen $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ilmatieteen laitos, 2024). Bentso(a)pyreenin leviämismallinnuksessa ei huomioitu taustapitoisuutta.



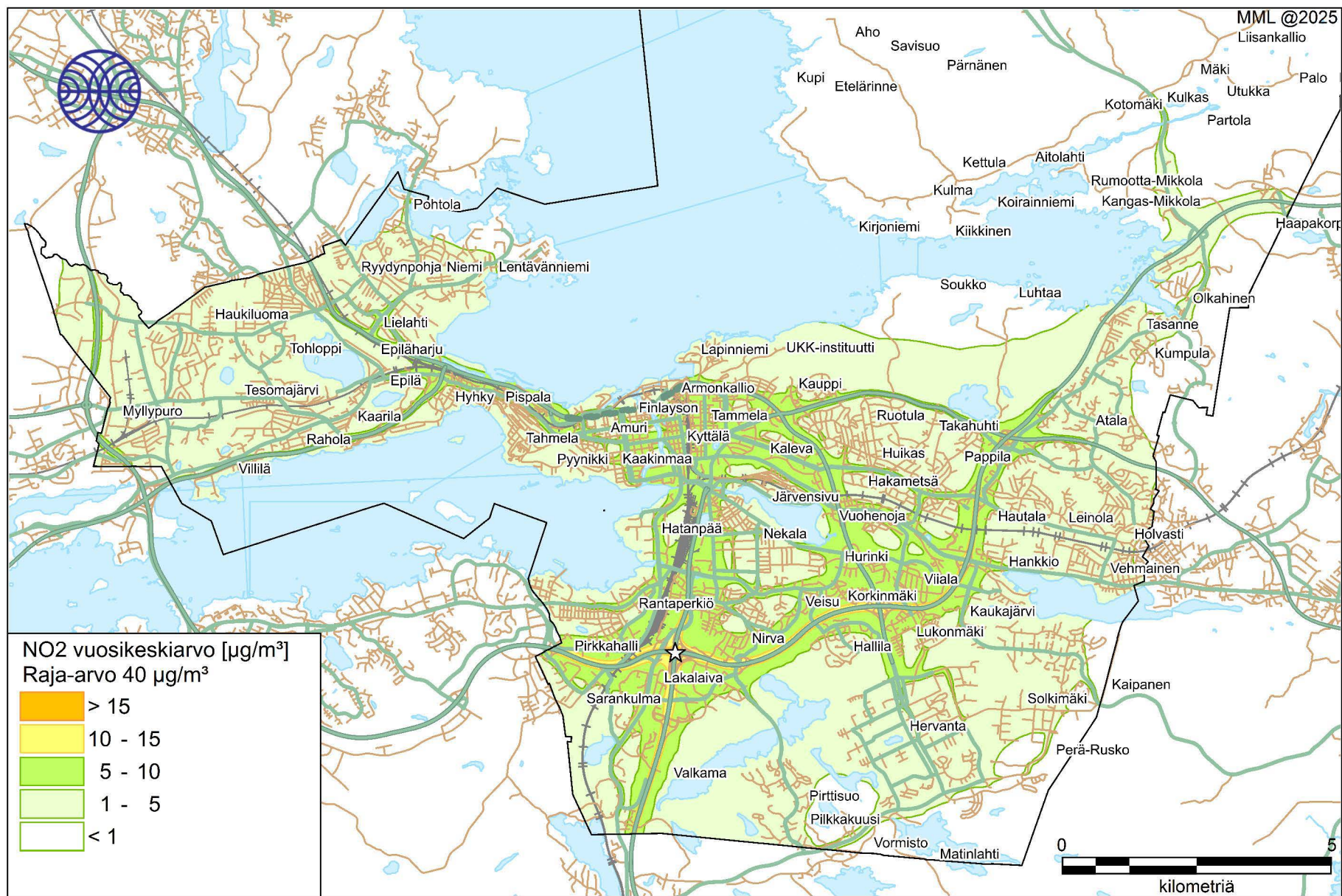
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 1. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa. Vuosiraja-arvo on 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 2. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa. Vuosiraja-arvo on 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



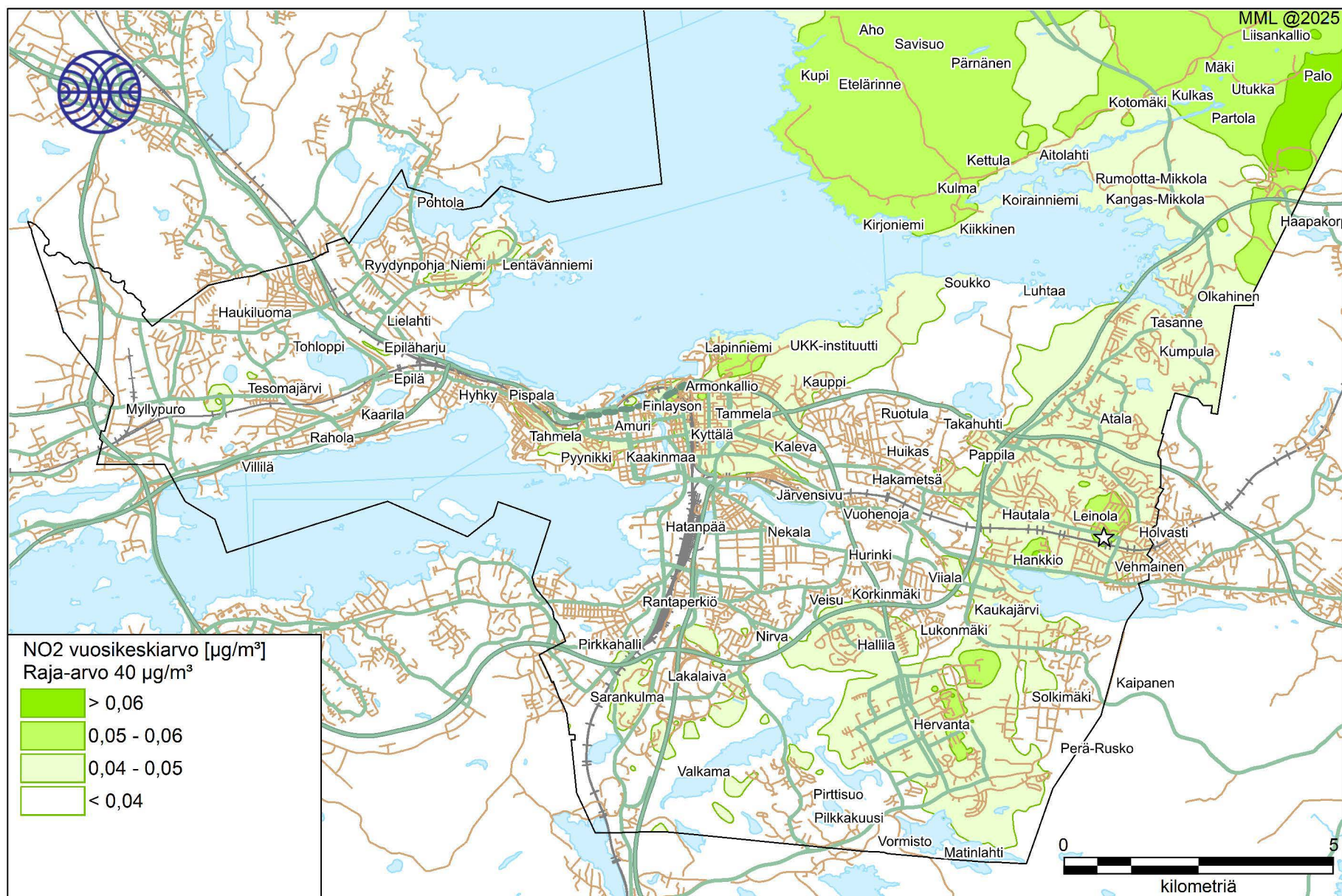
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 3. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



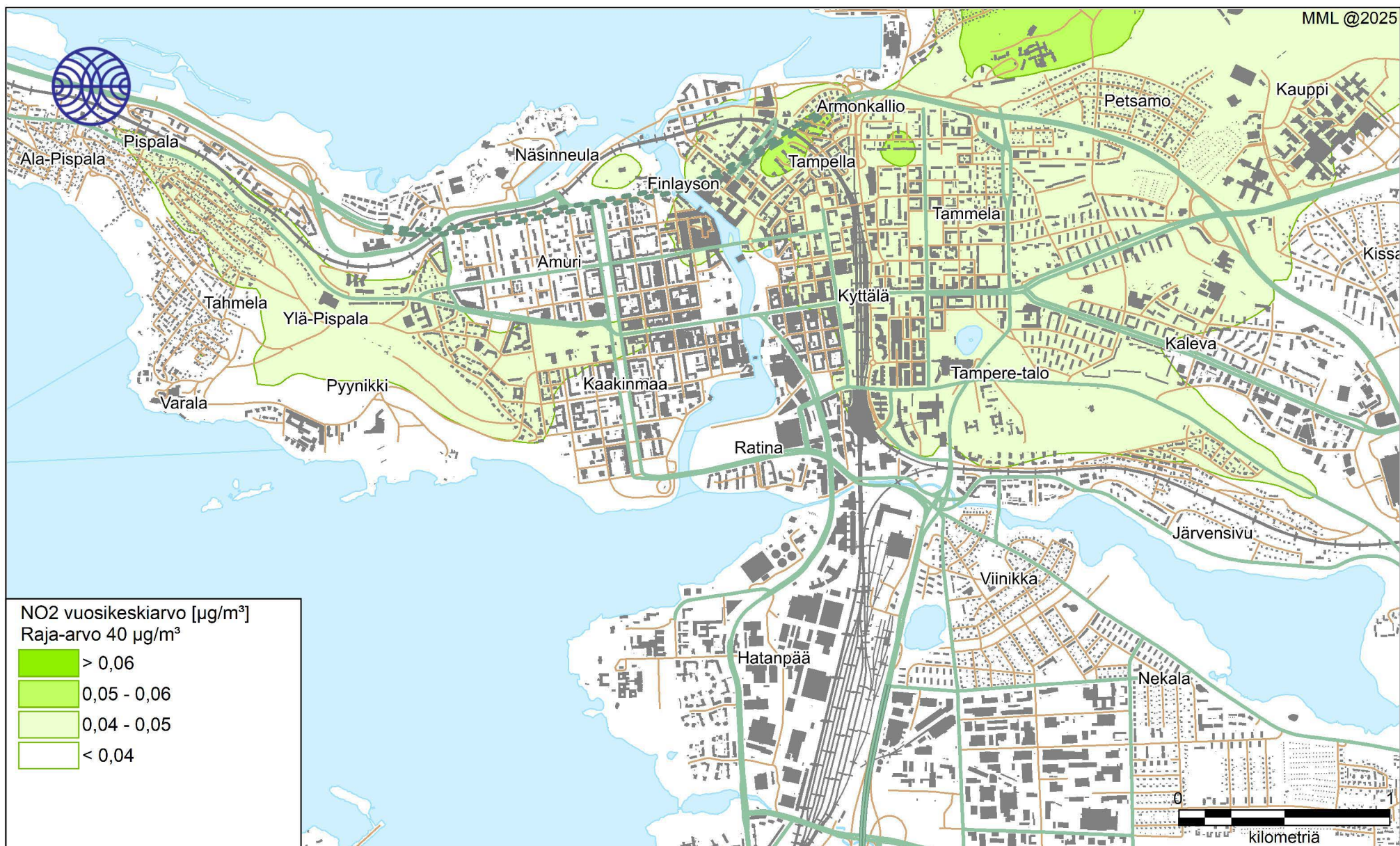
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 4. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosisiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



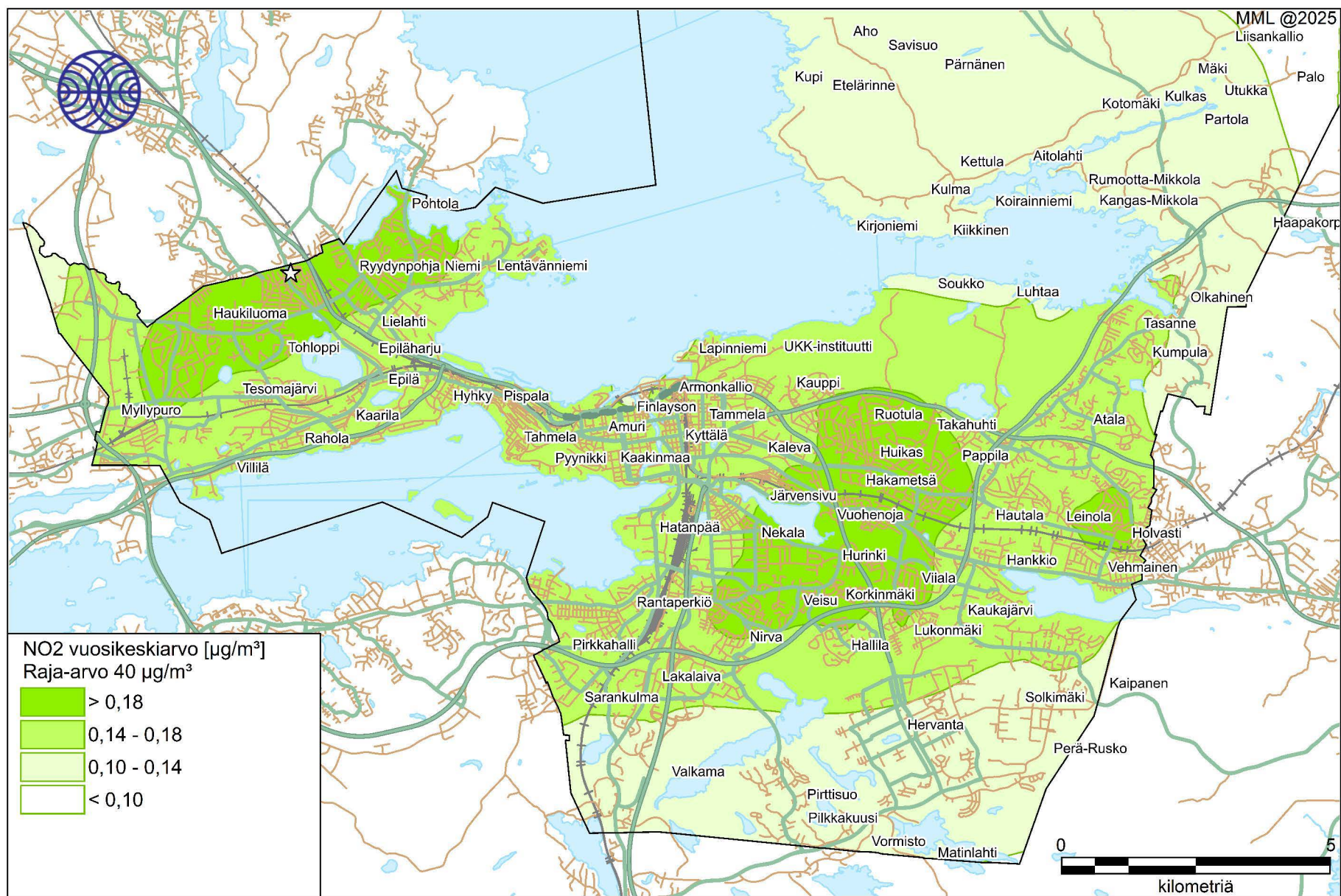
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 5. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



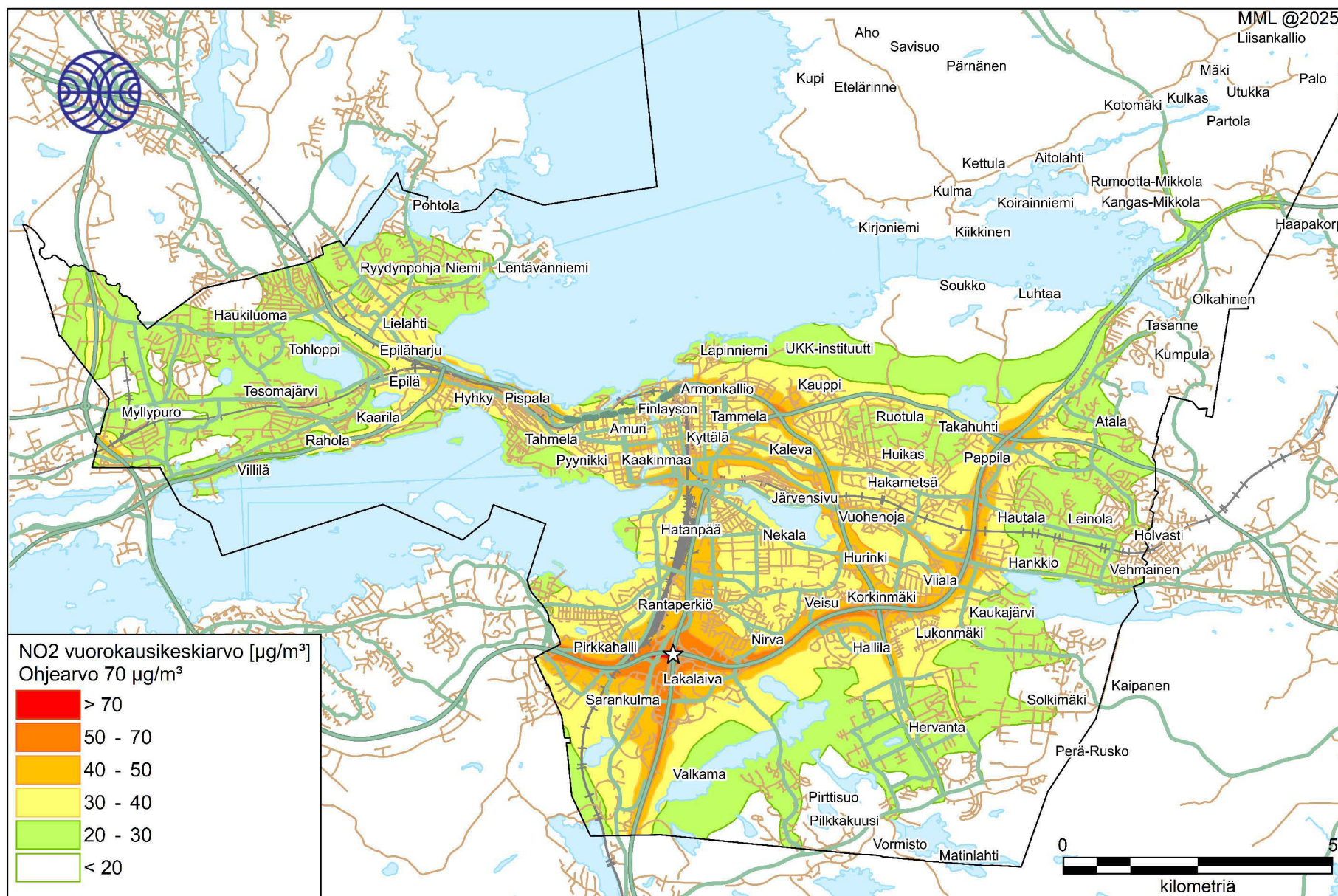
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 6. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosisiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

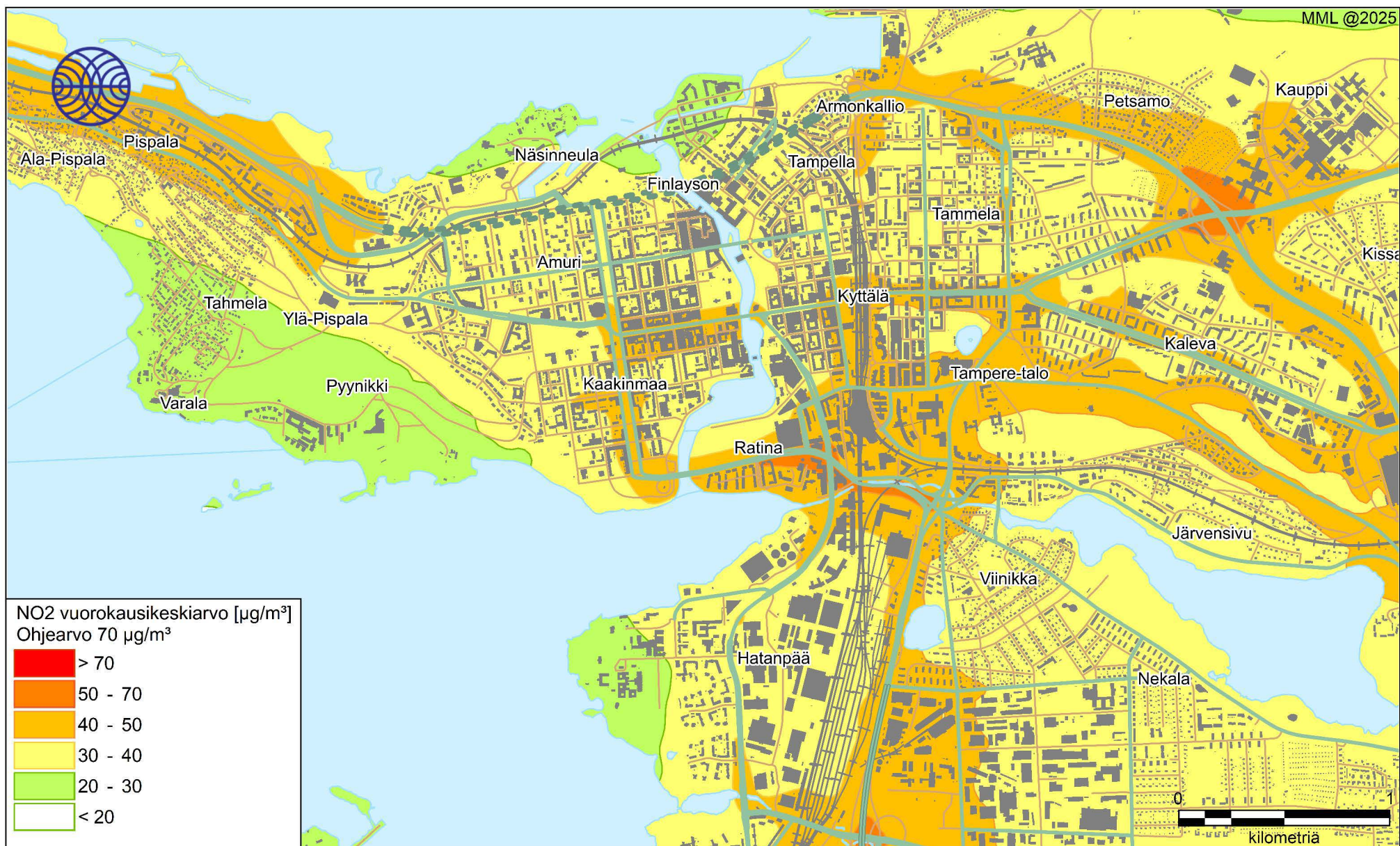
Kuva 7. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

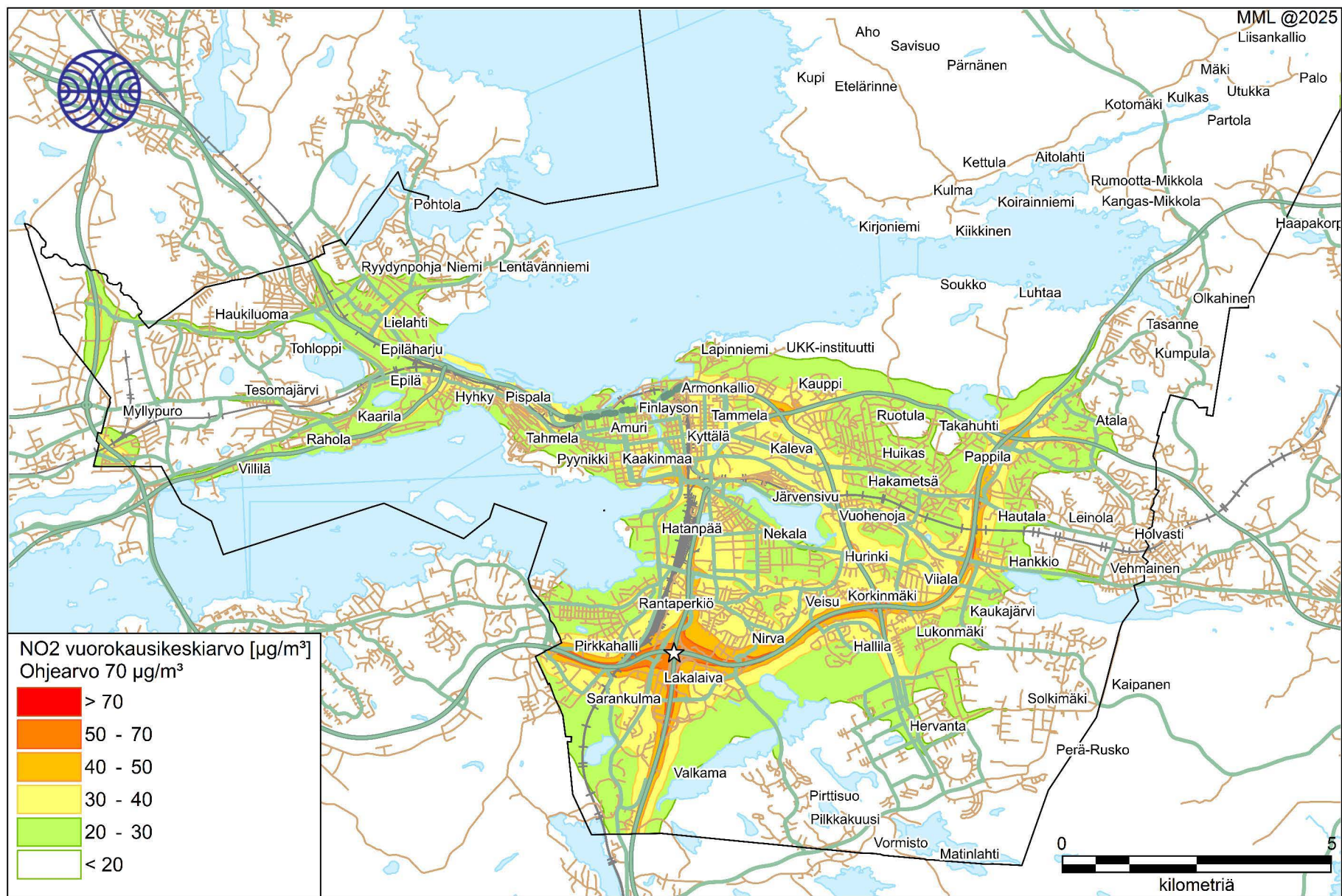
☆ = maksimi = 85,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 8. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



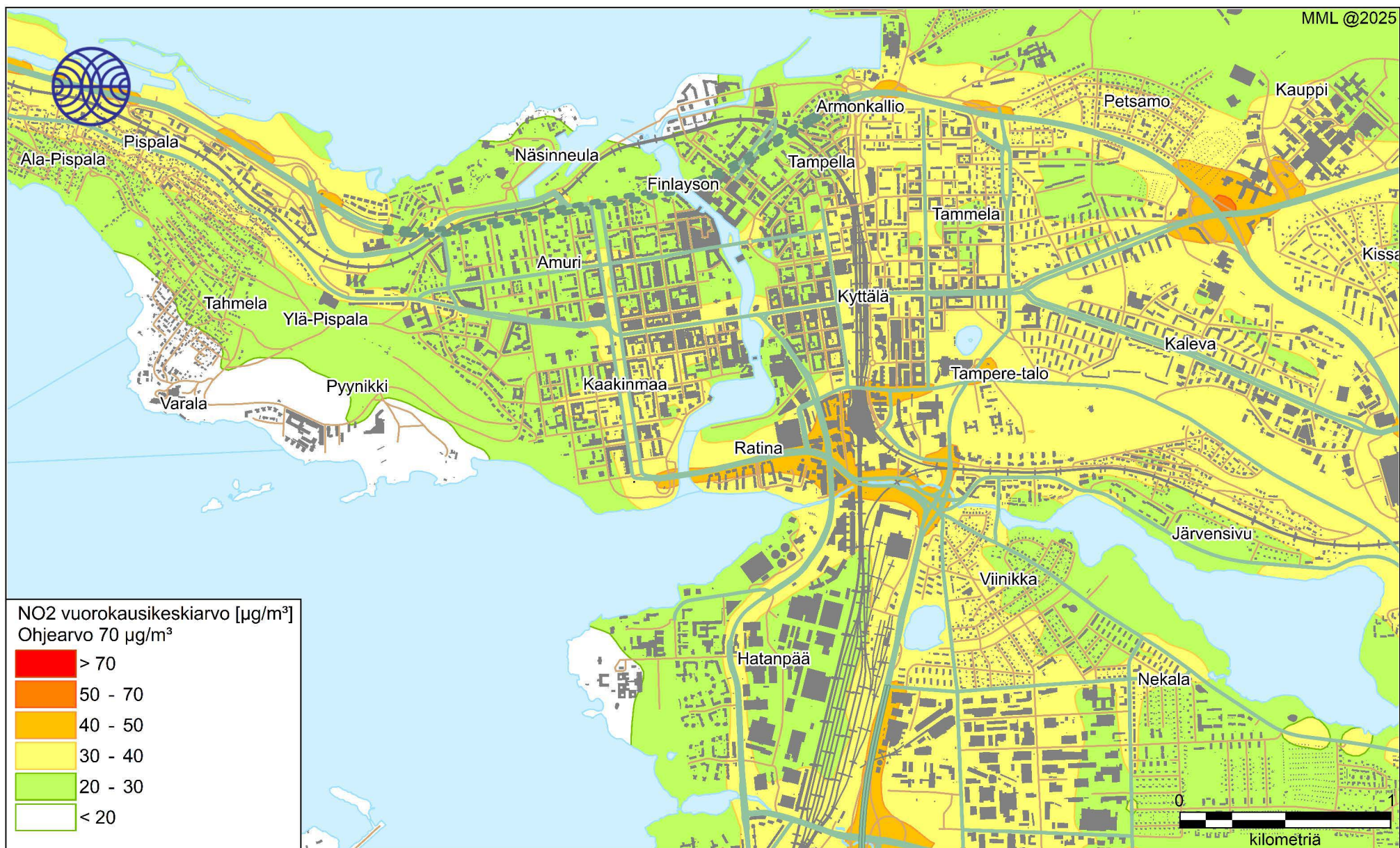
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 9. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



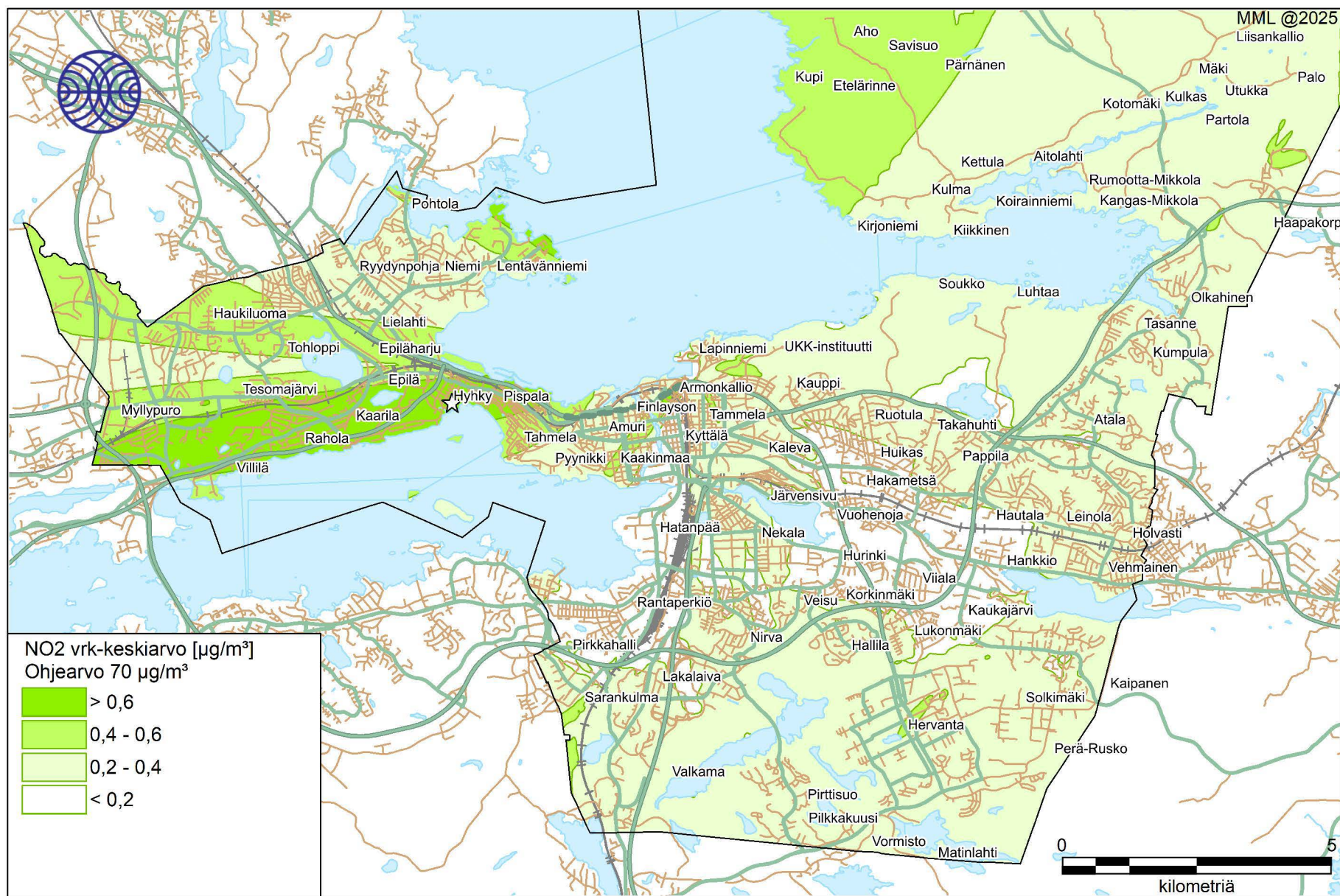
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 10. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



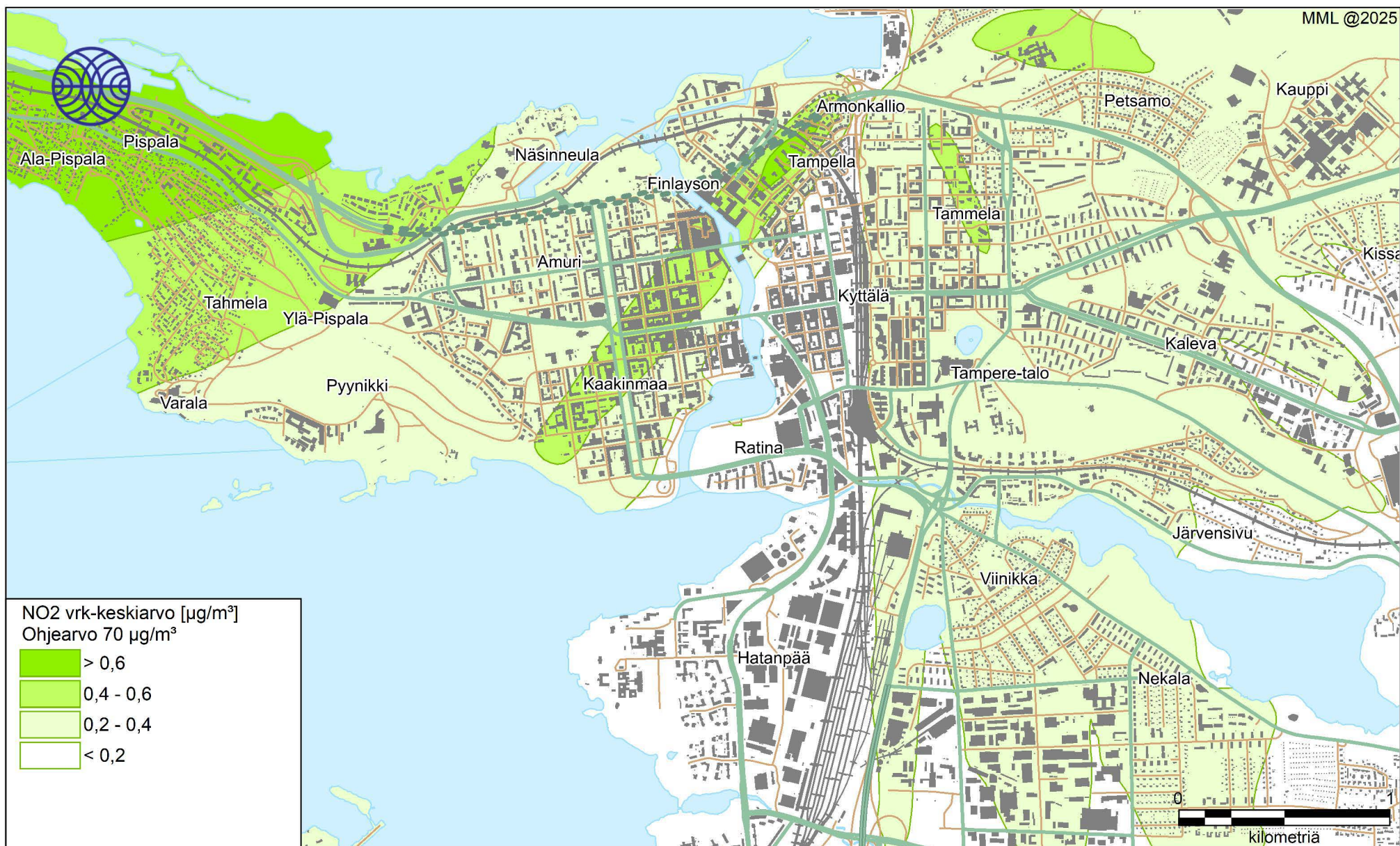
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 11. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



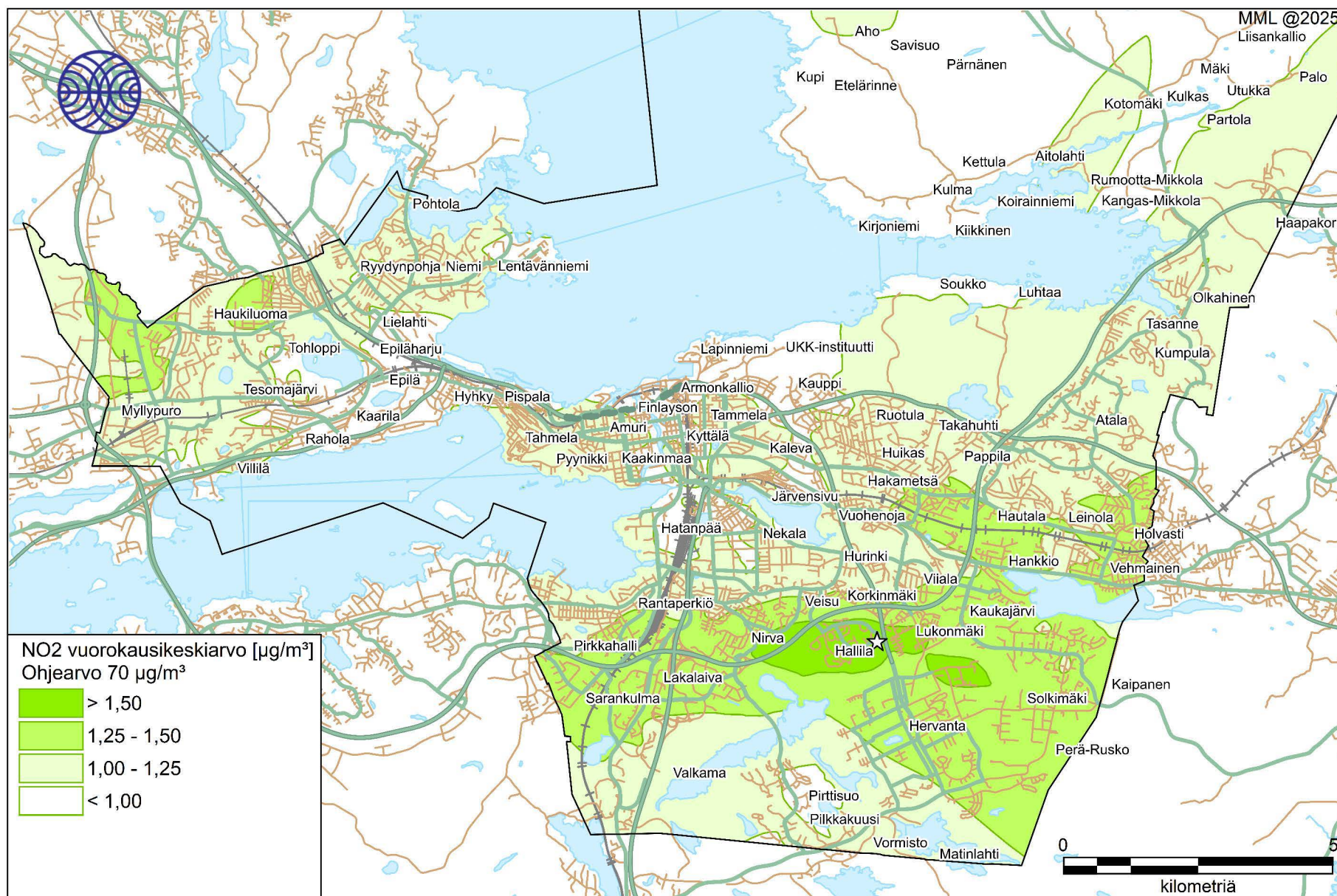
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 12. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

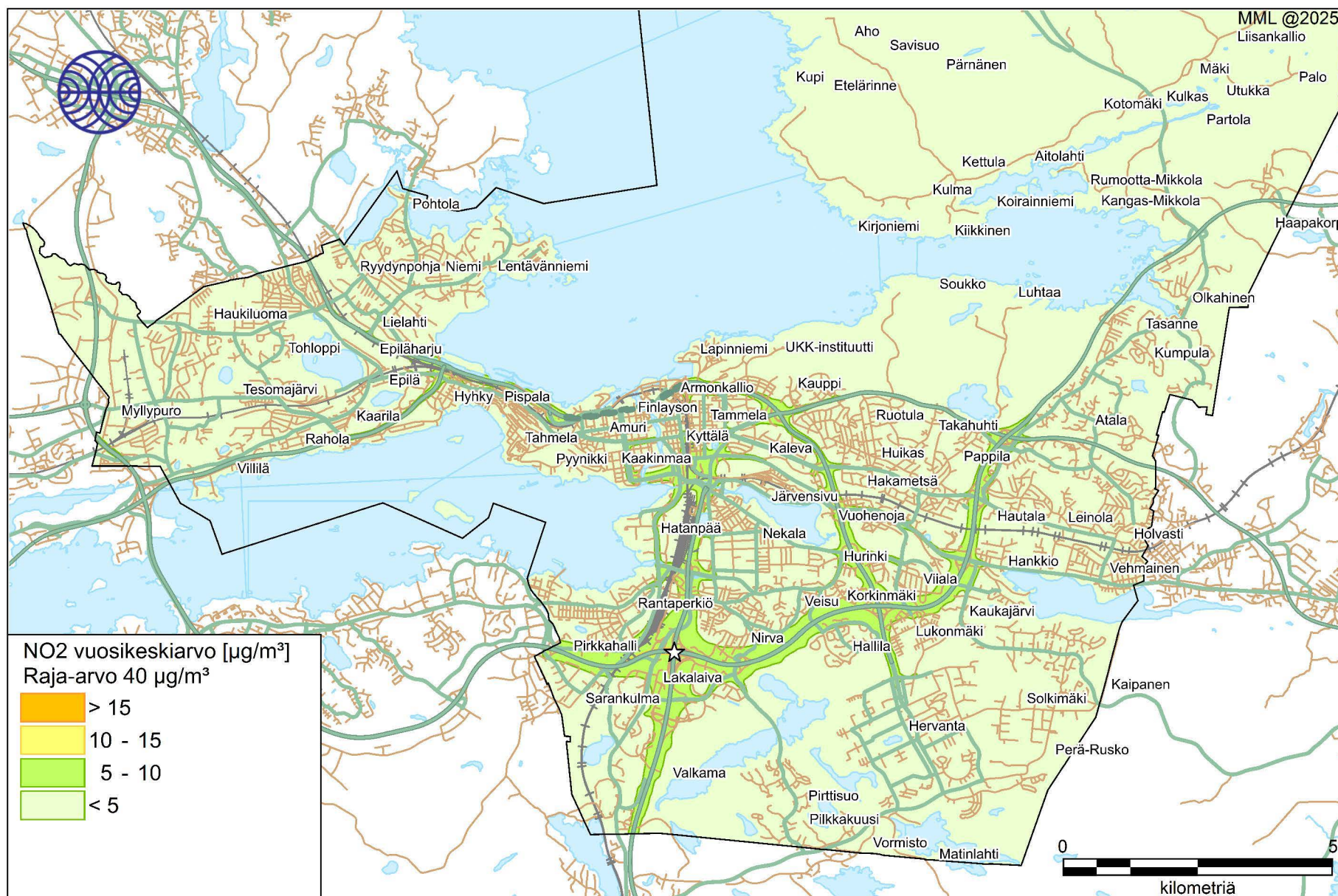
Kuva 13. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

☆ = maksimi = 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

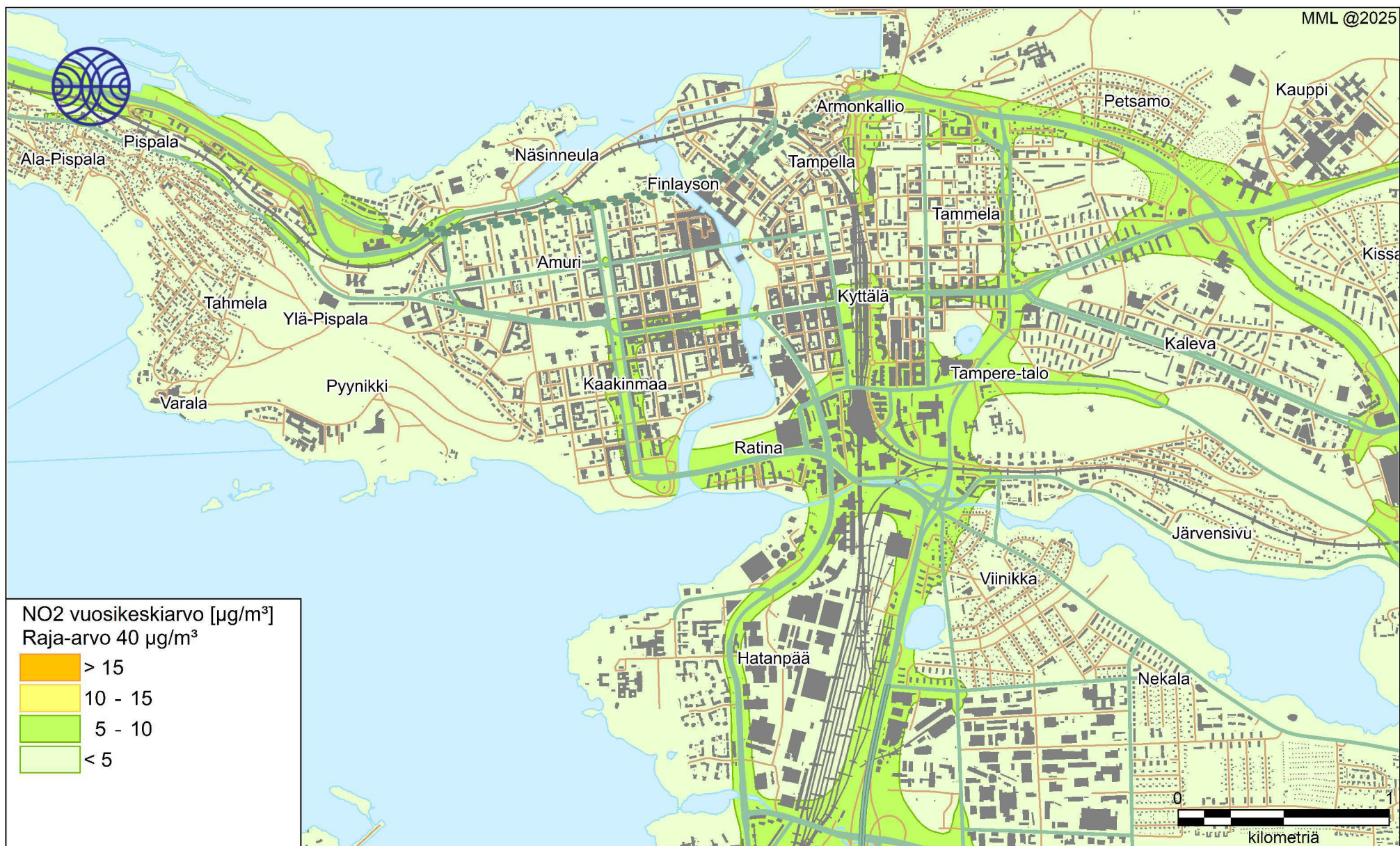
Kuva 14. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

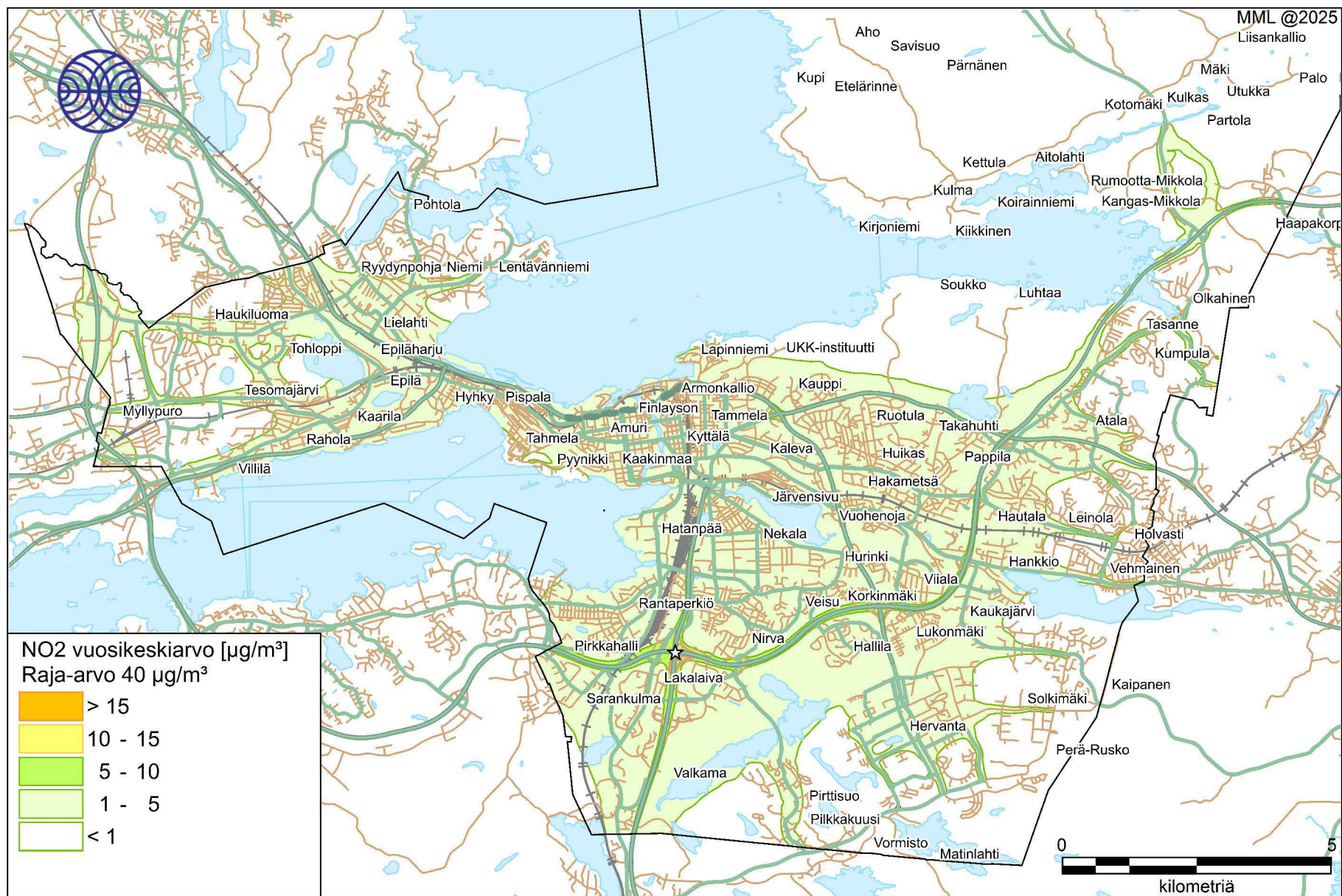
☆ = maksimi = $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 15. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040. Vuosiraja-arvo on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



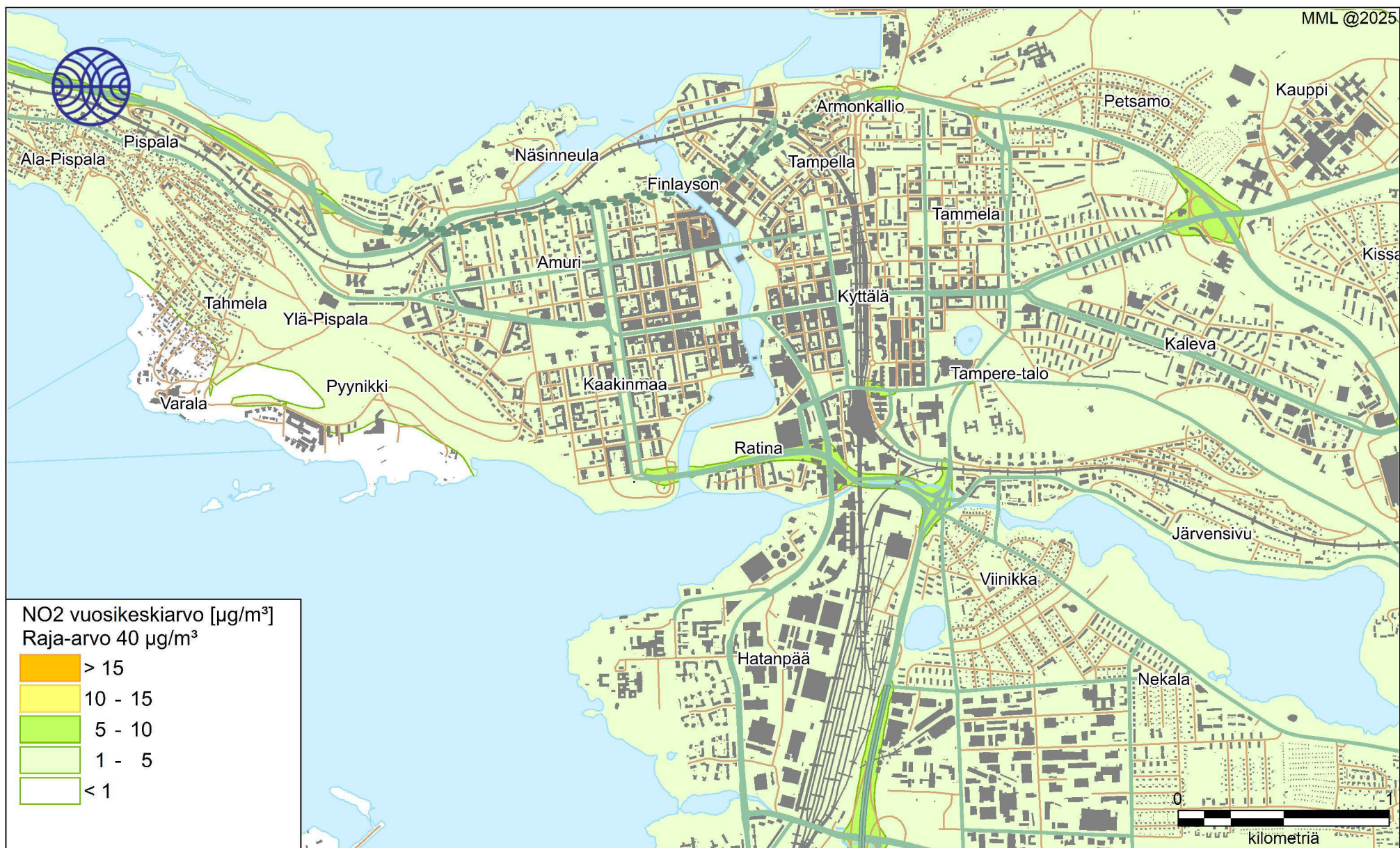
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 16. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040. Vuosiraja-arvo on 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



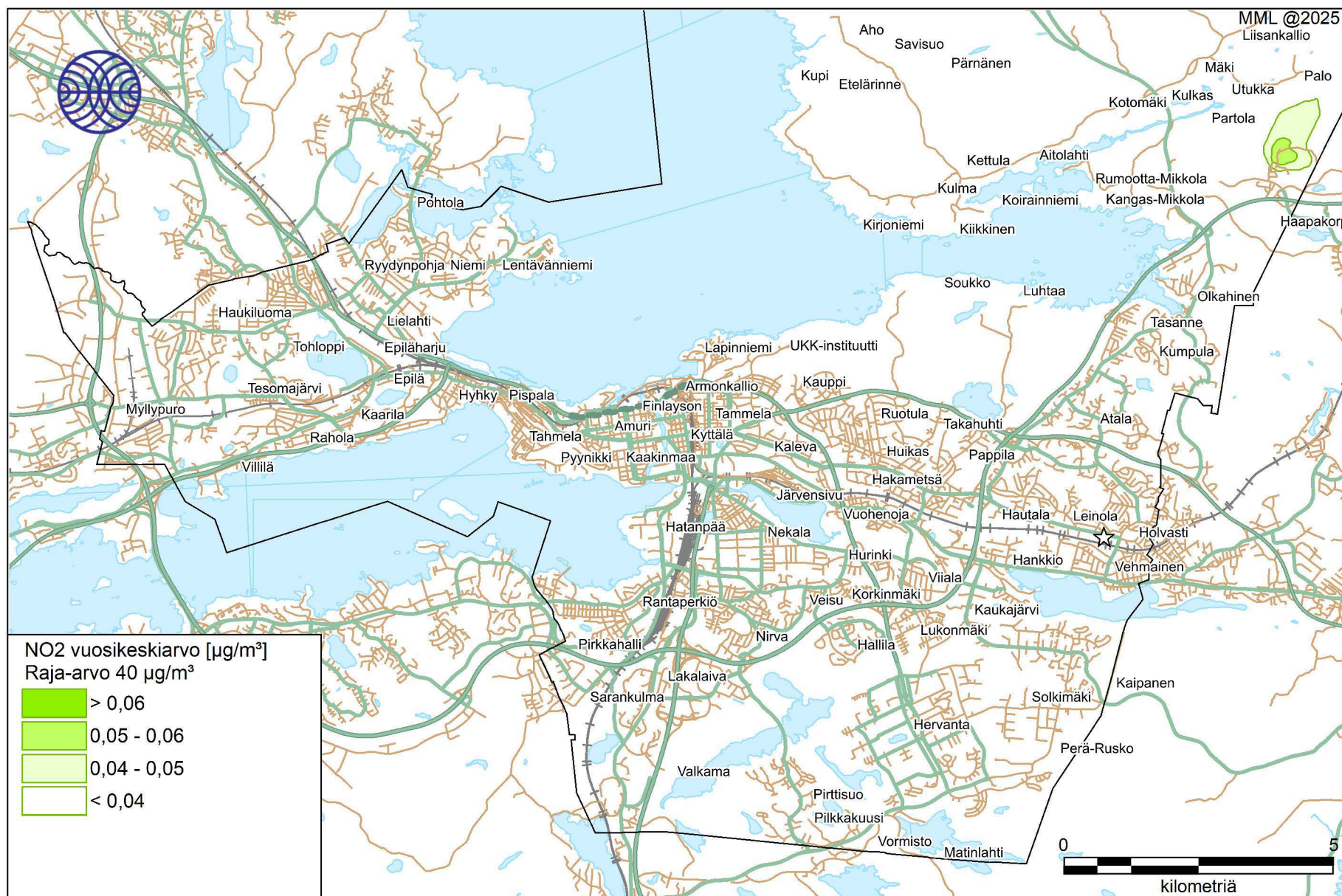
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 17. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



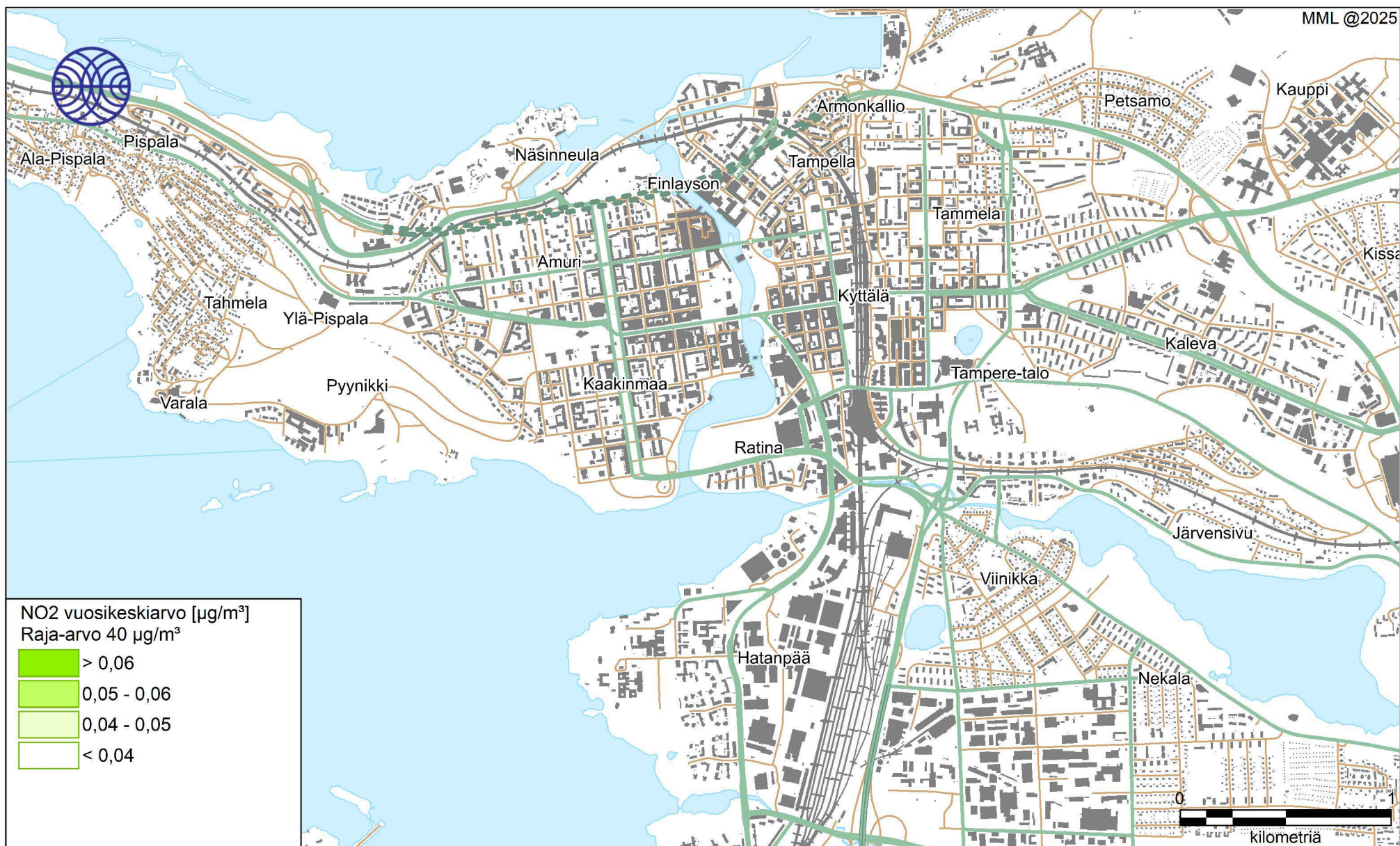
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 18. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosisraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



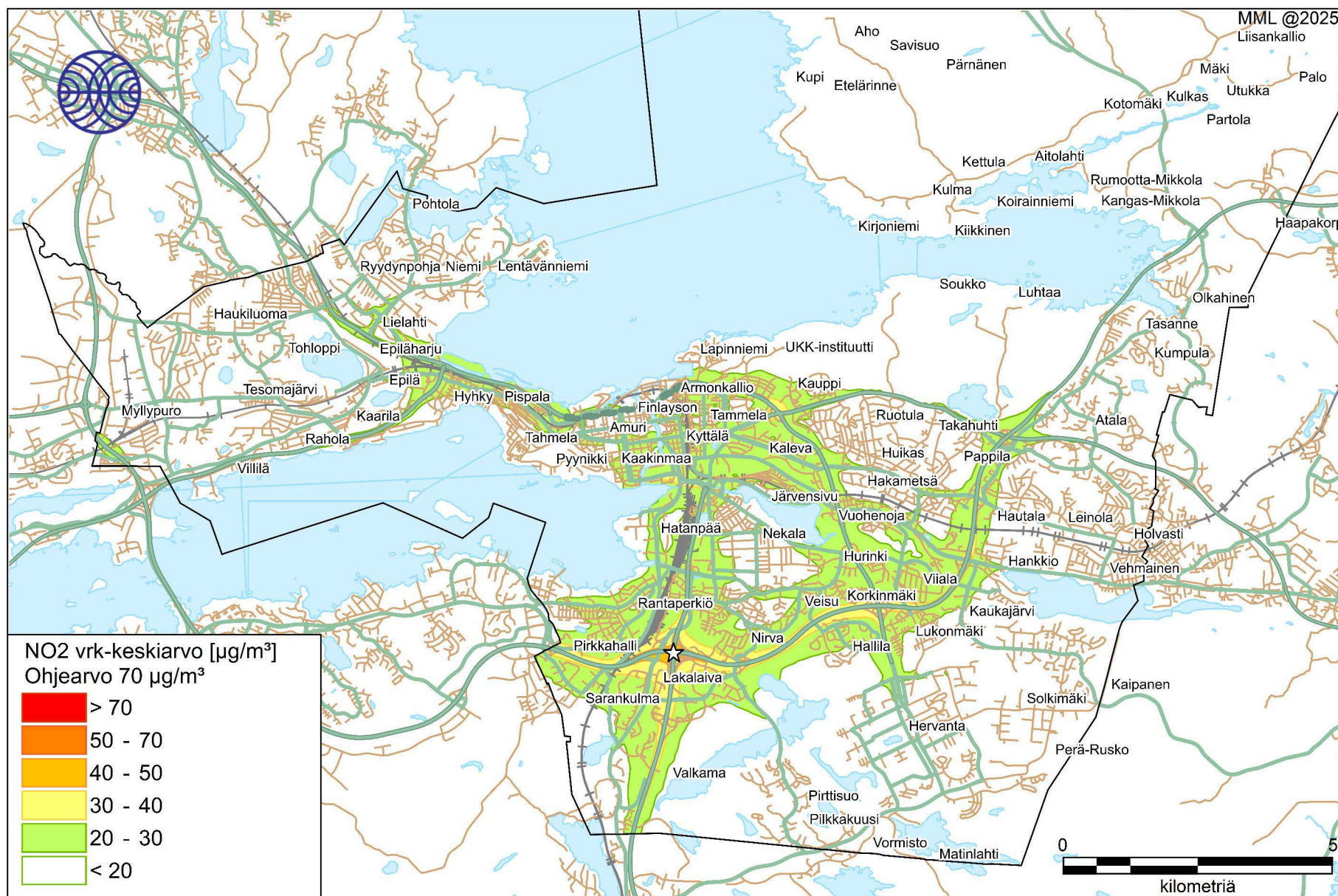
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 19. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



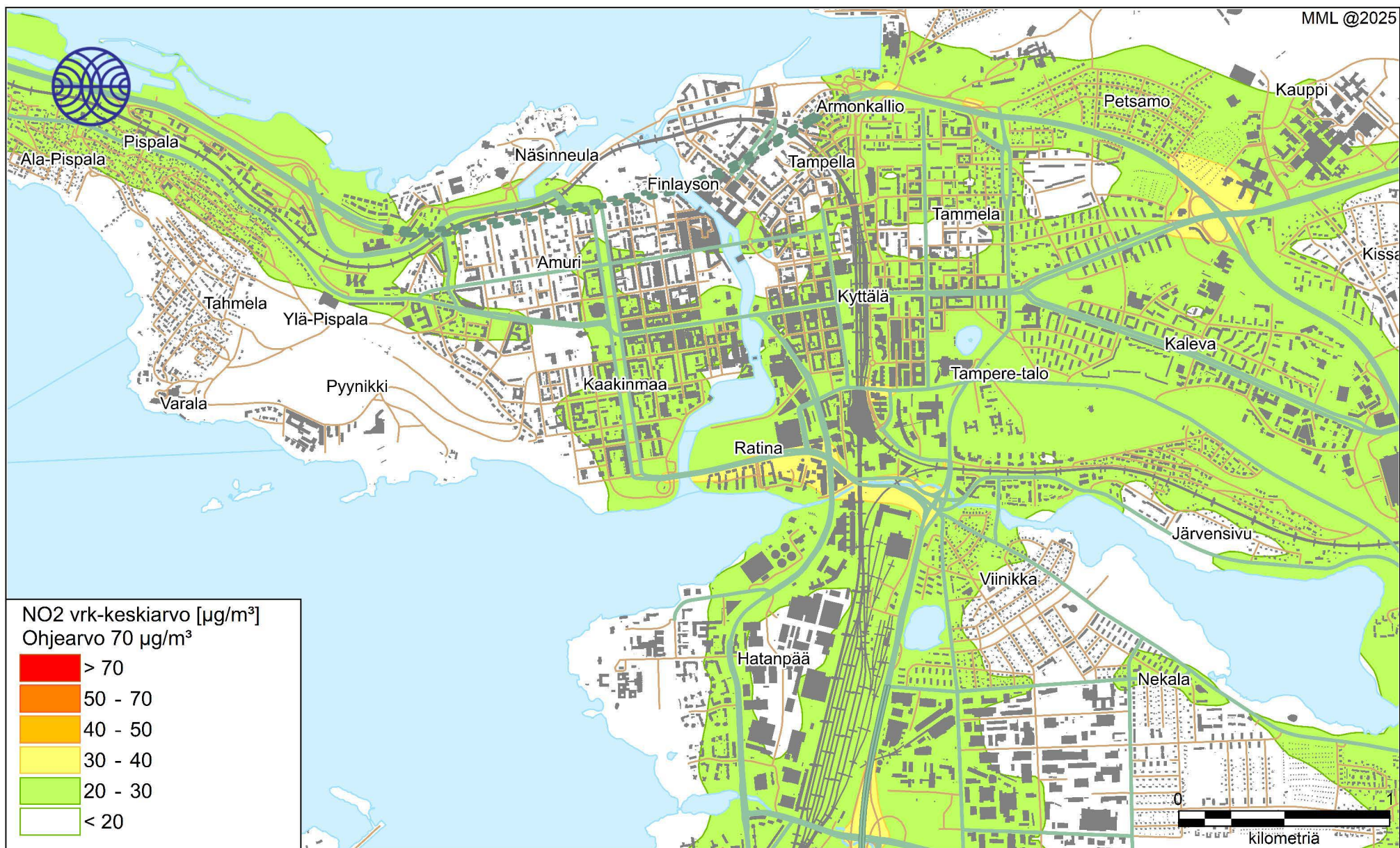
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 20. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokauden keskiarvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



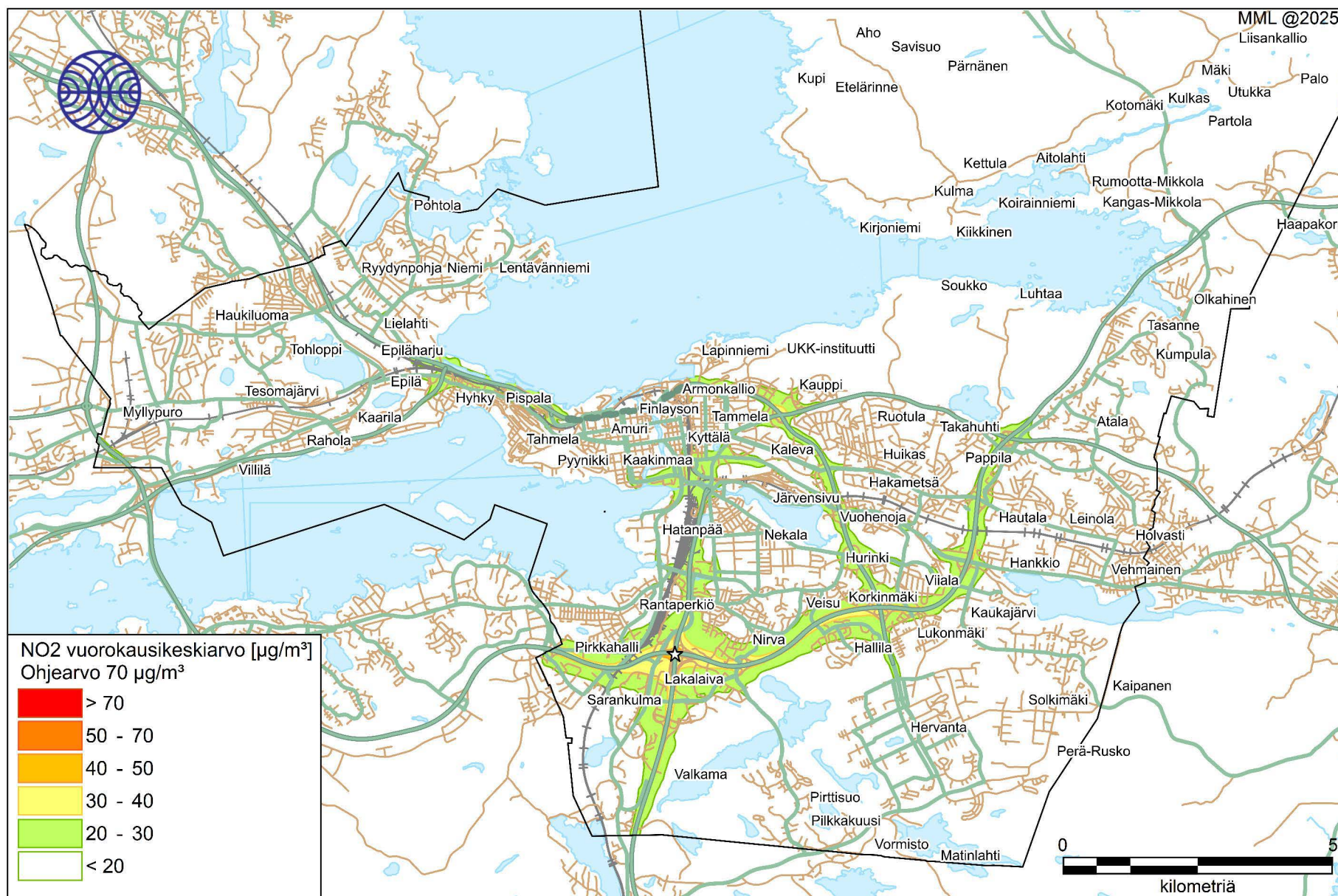
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 21. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



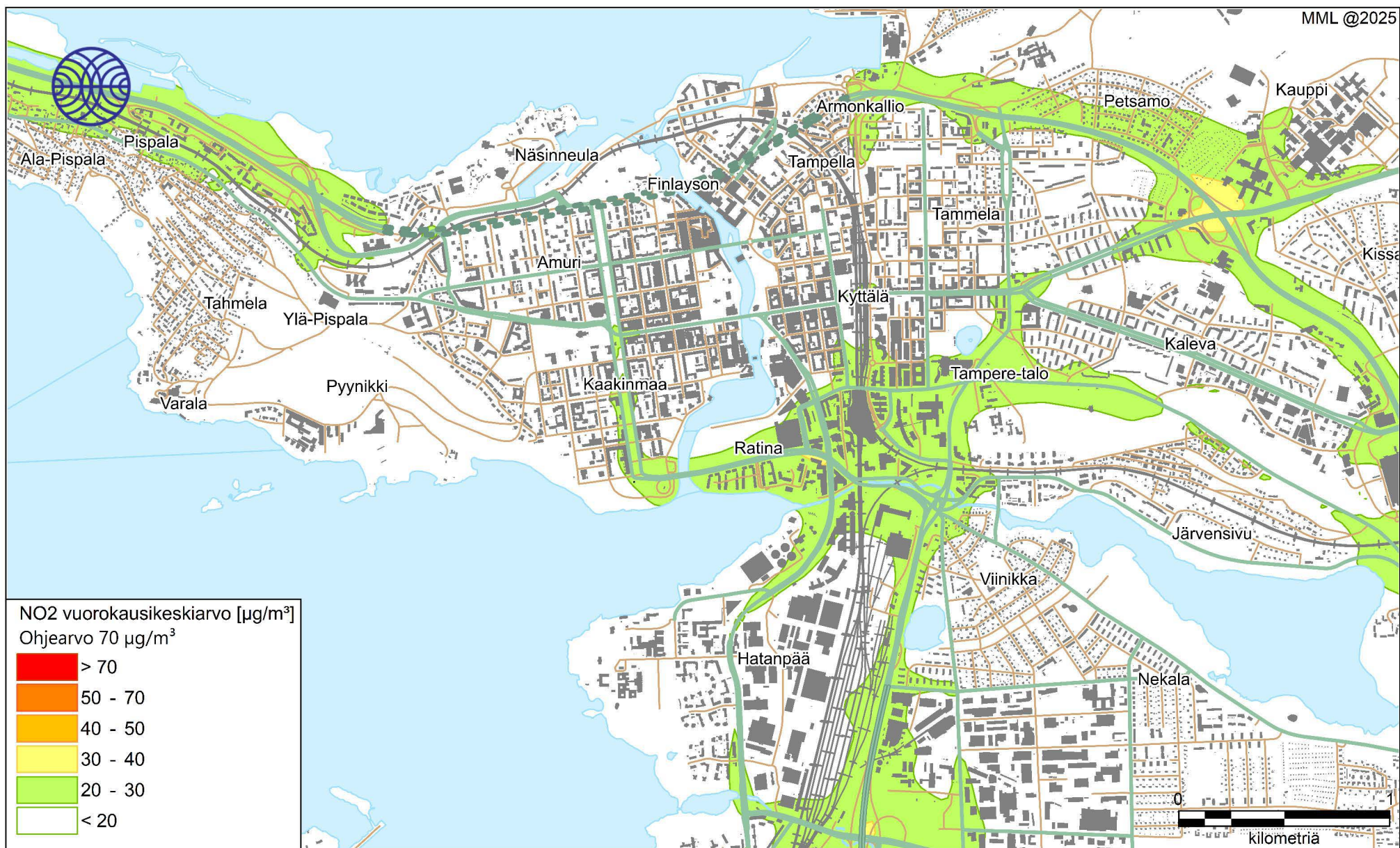
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 22. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



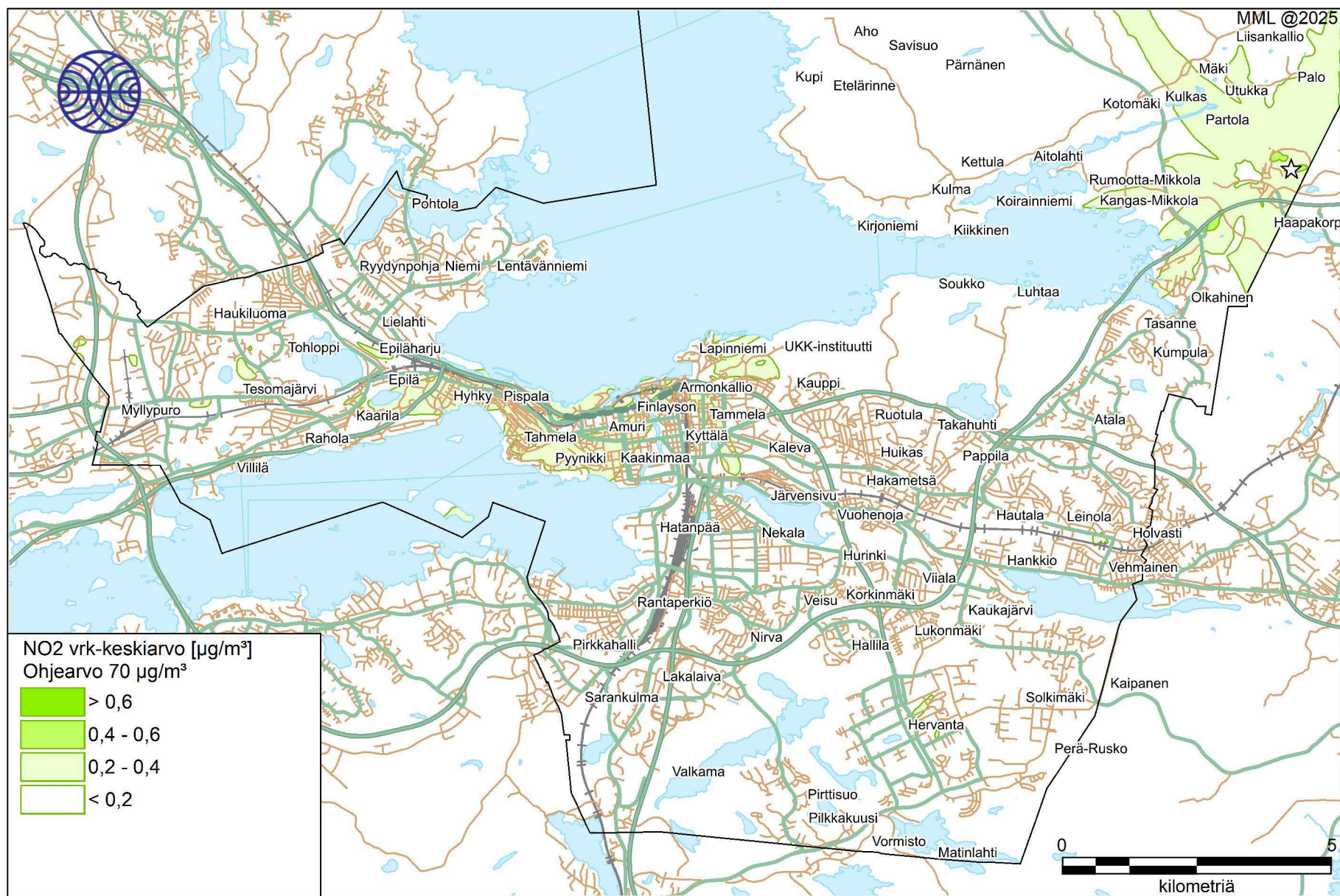
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 23. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



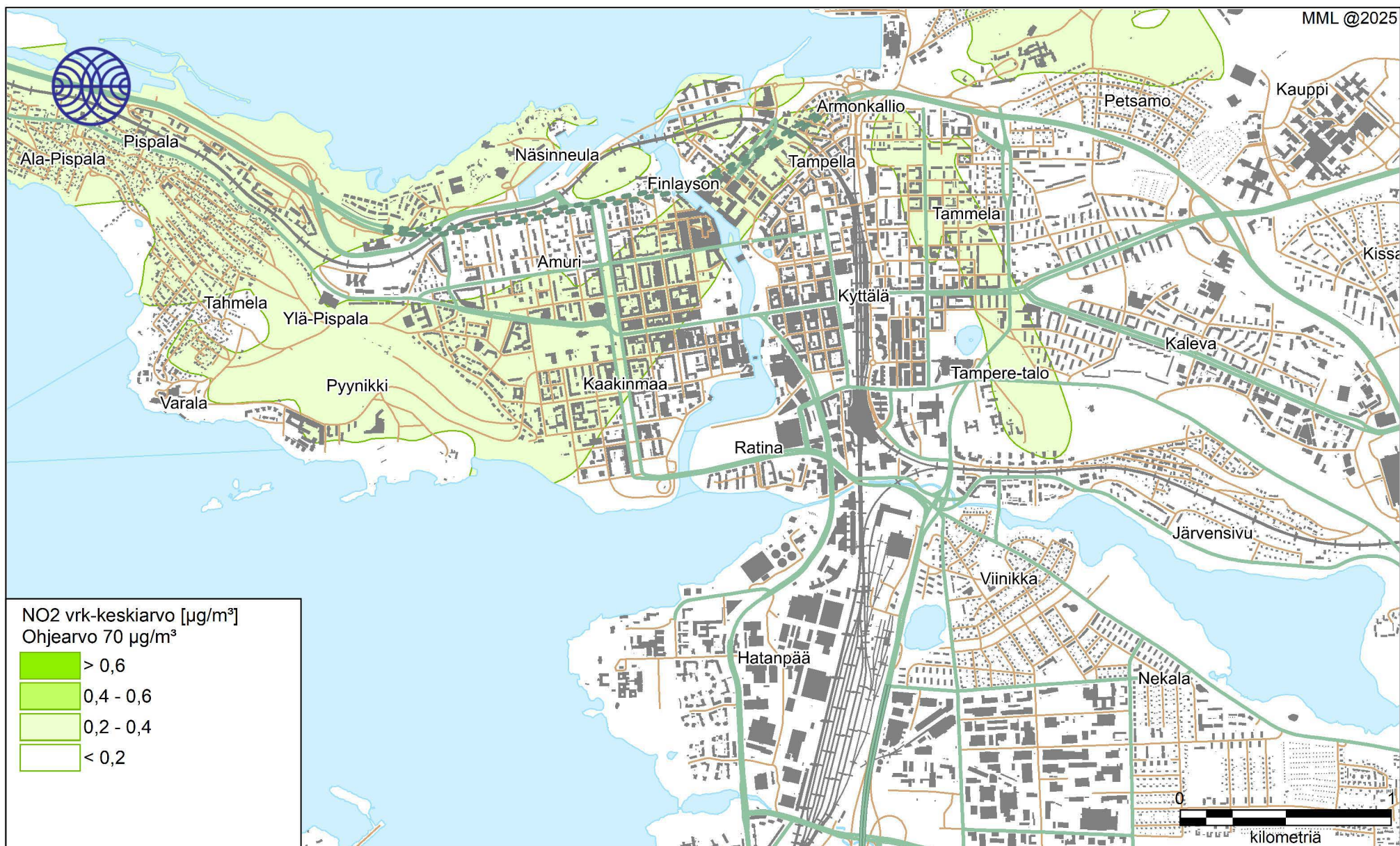
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 24. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



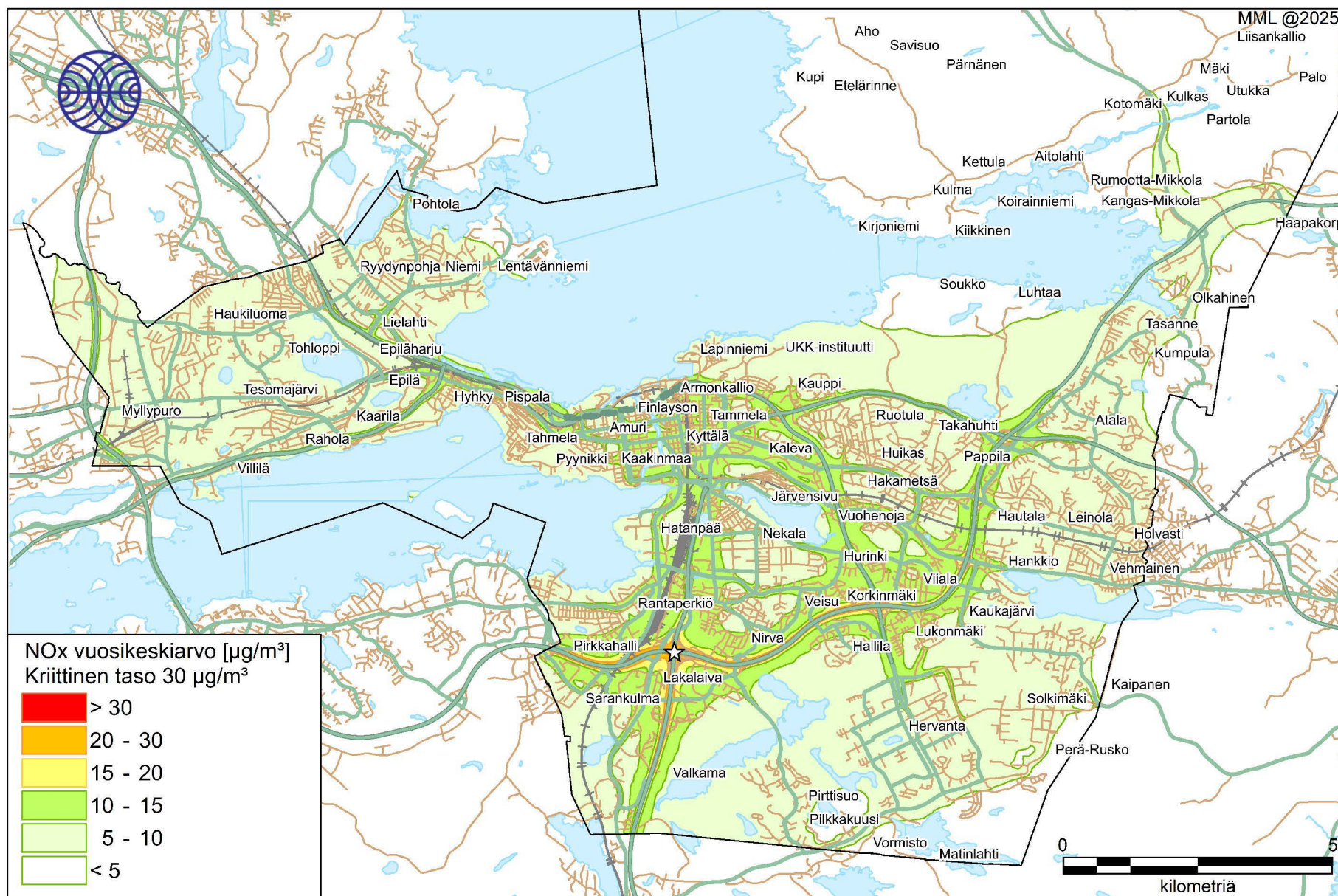
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 25. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 26. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

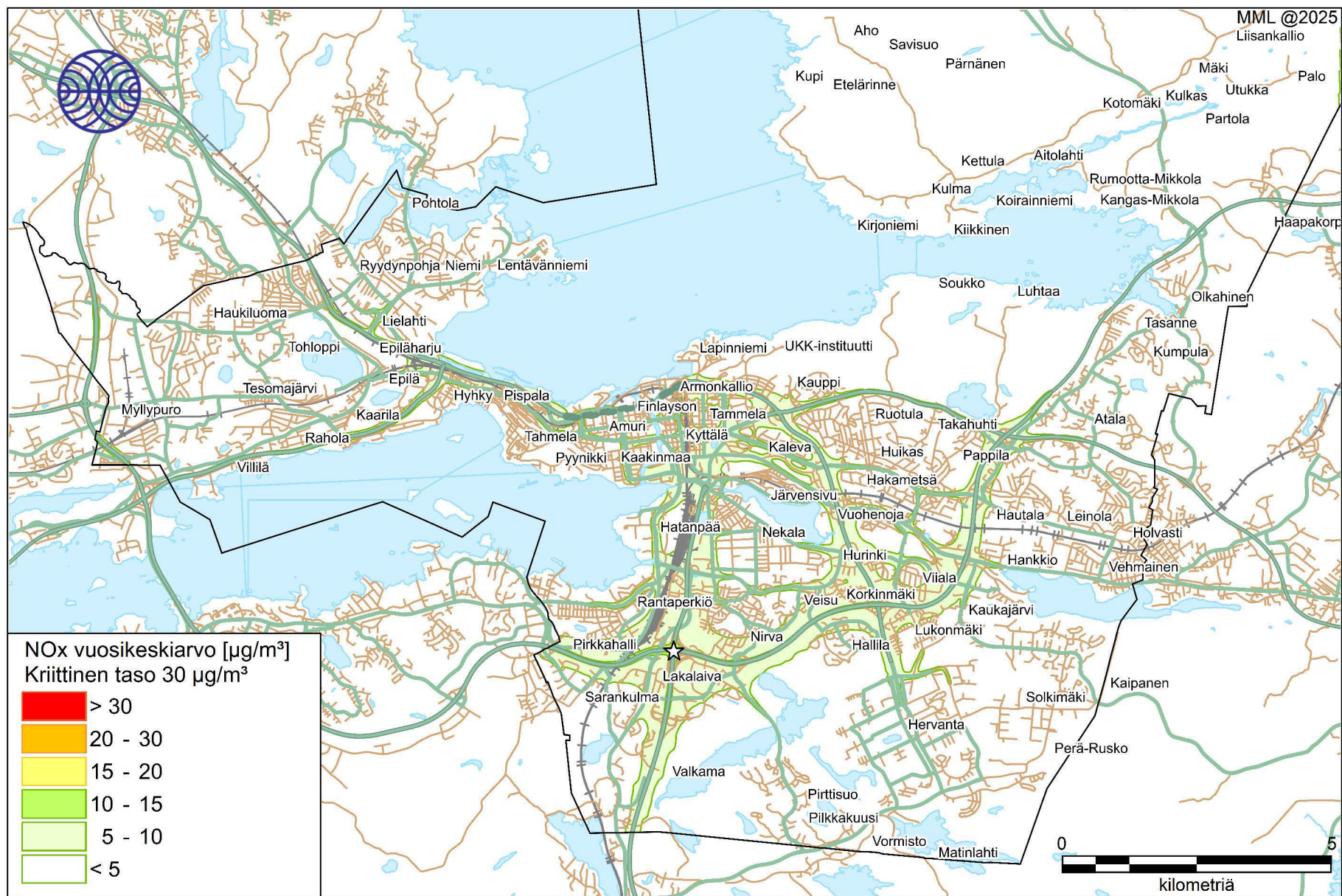
☆ = maksimi = $47,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 27. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien kriittiseen tasoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



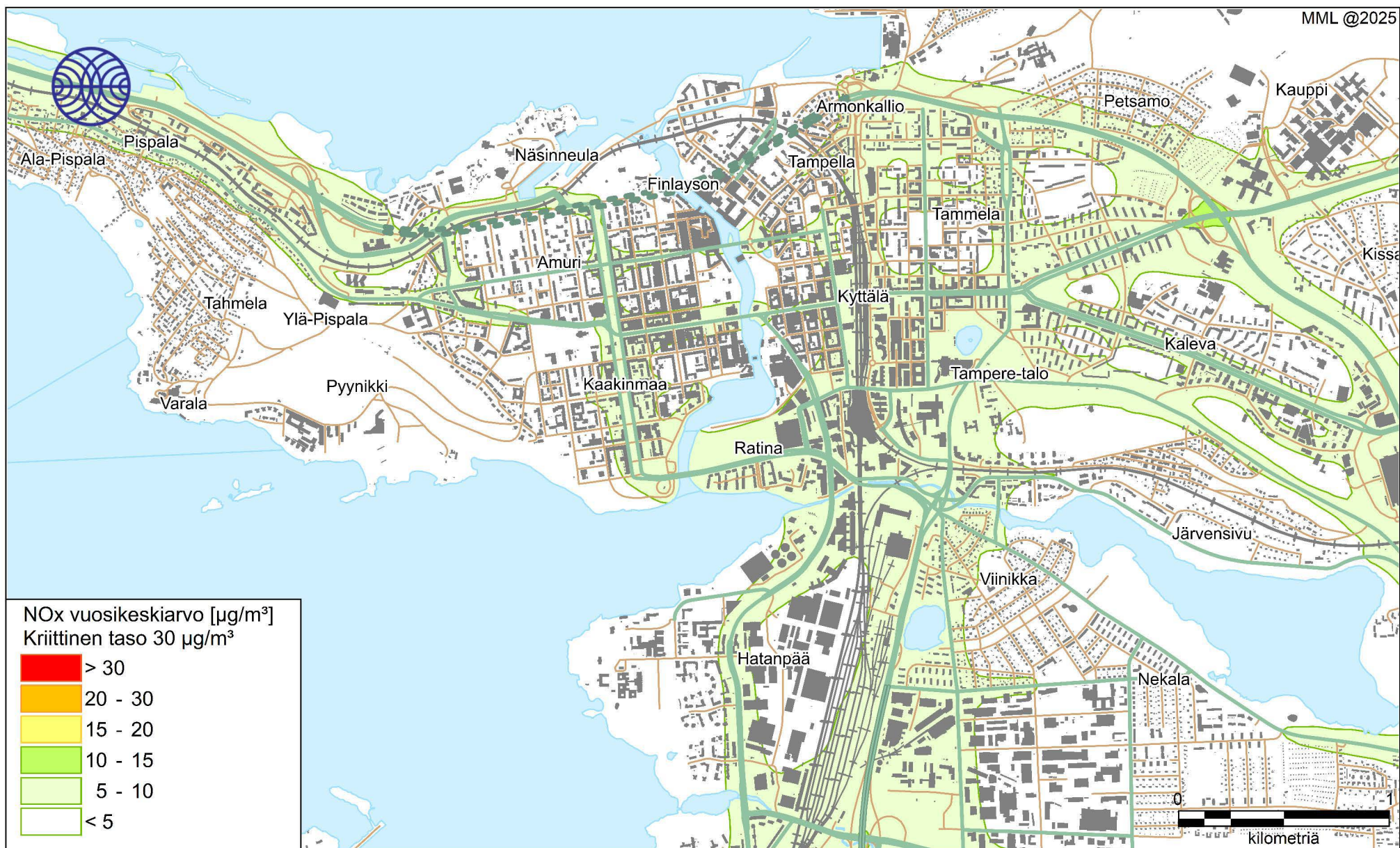
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 28. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien kriittiseen tasoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



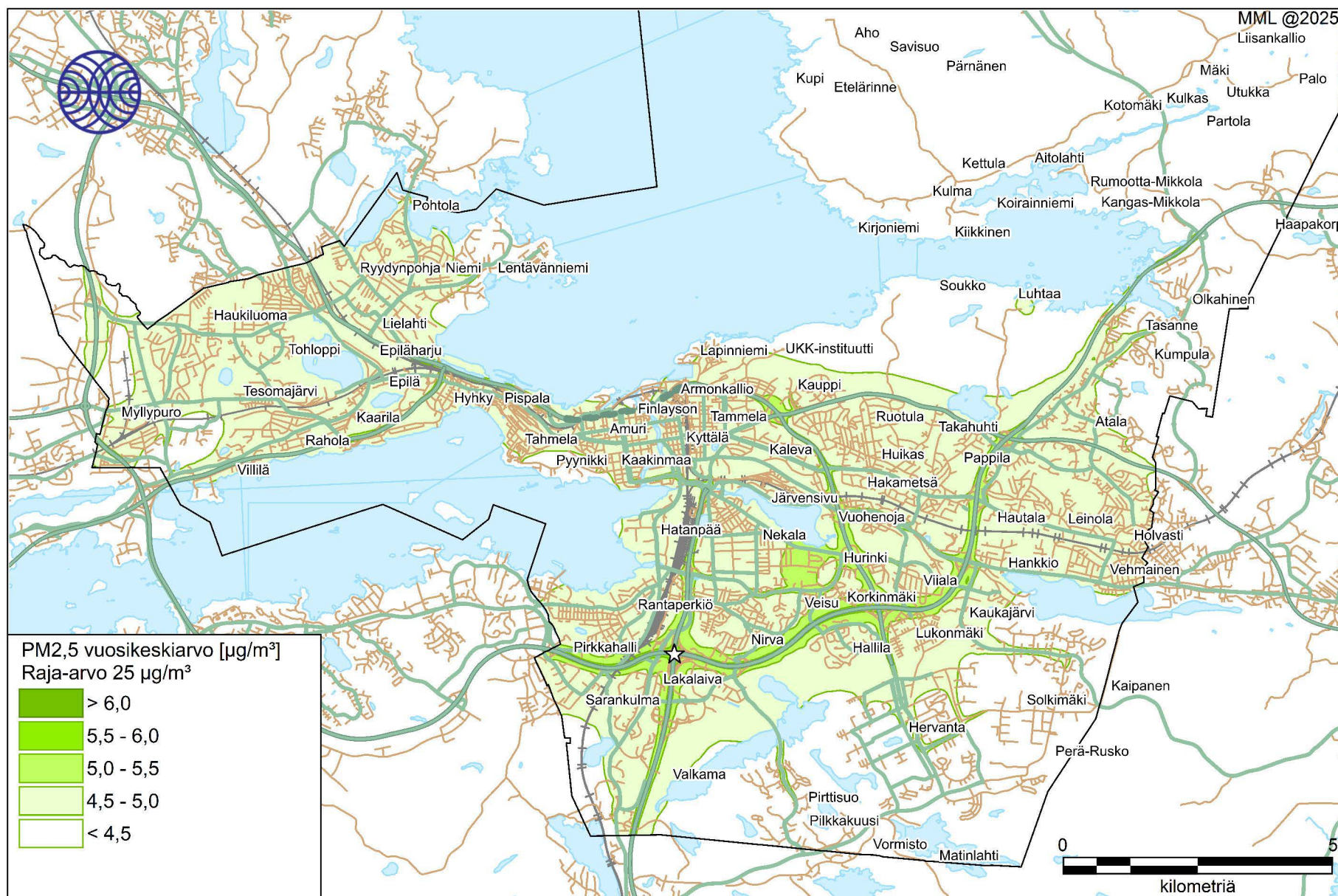
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 29. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien kriittiseen tasoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 30. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama typen oksidien kriittiseen tasoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

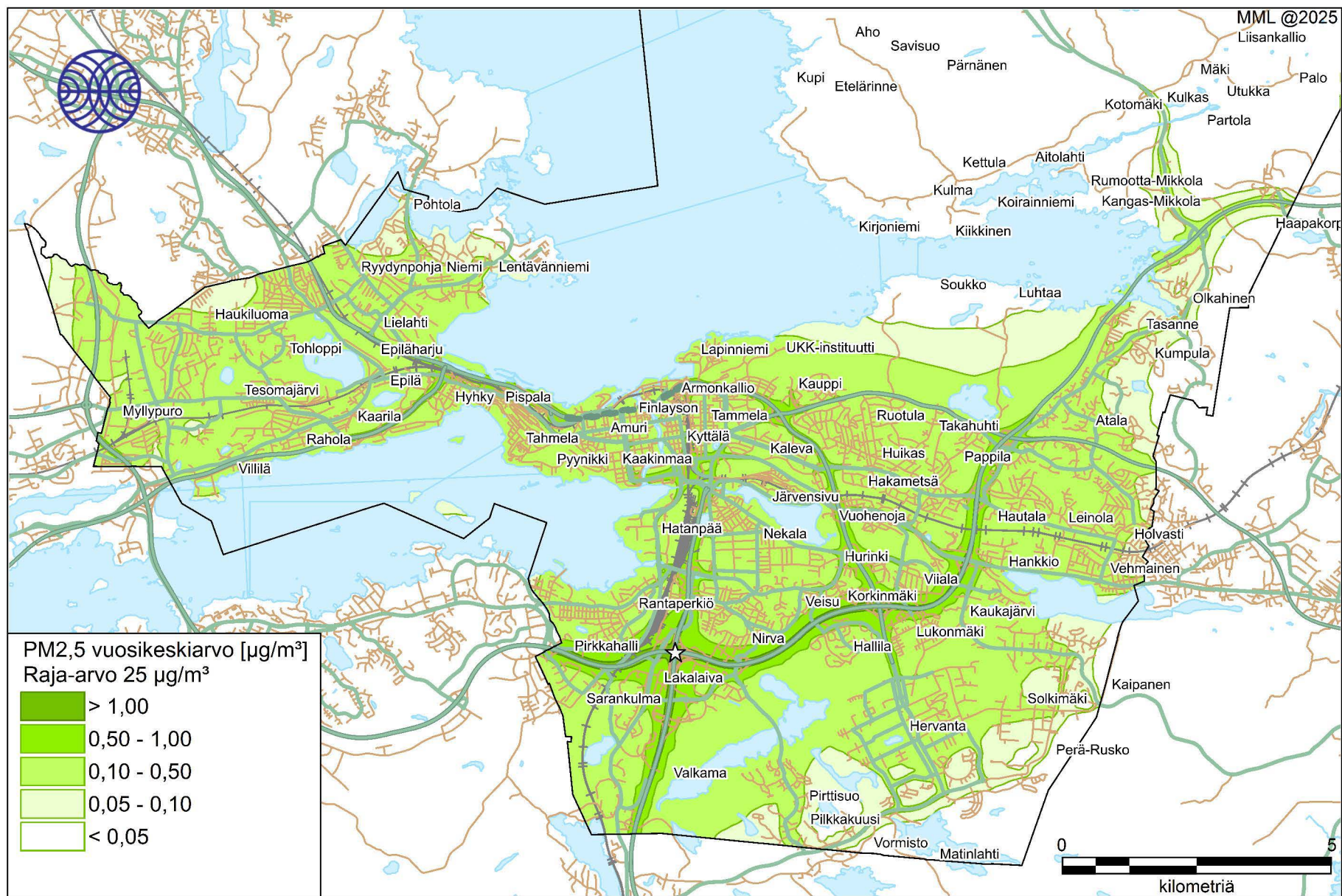
☆ = maksimi = 7,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 31. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa. Vuosiraja-arvo on 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2030 alkaen.



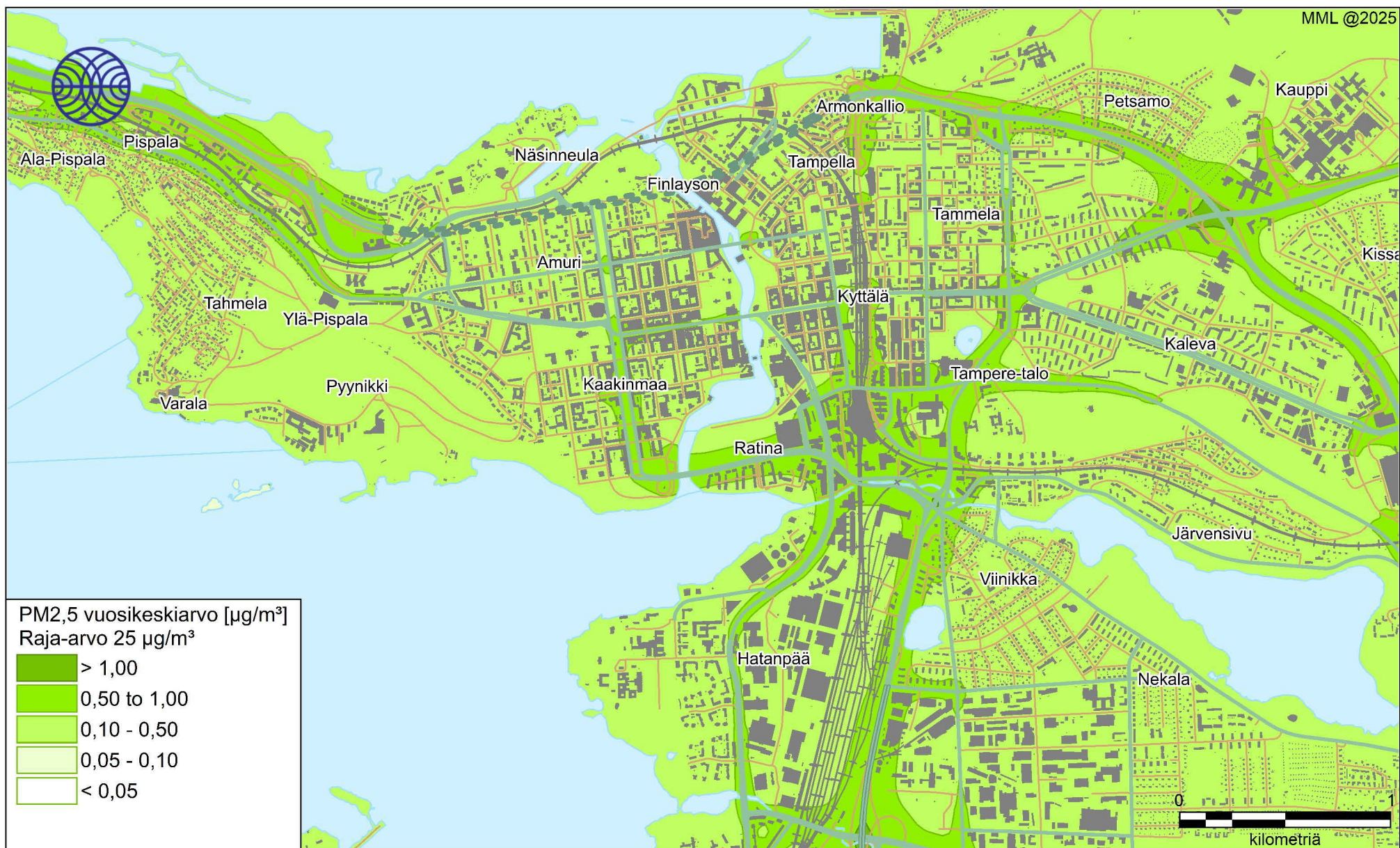
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 32. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa. Vuosiraja-arvo on 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



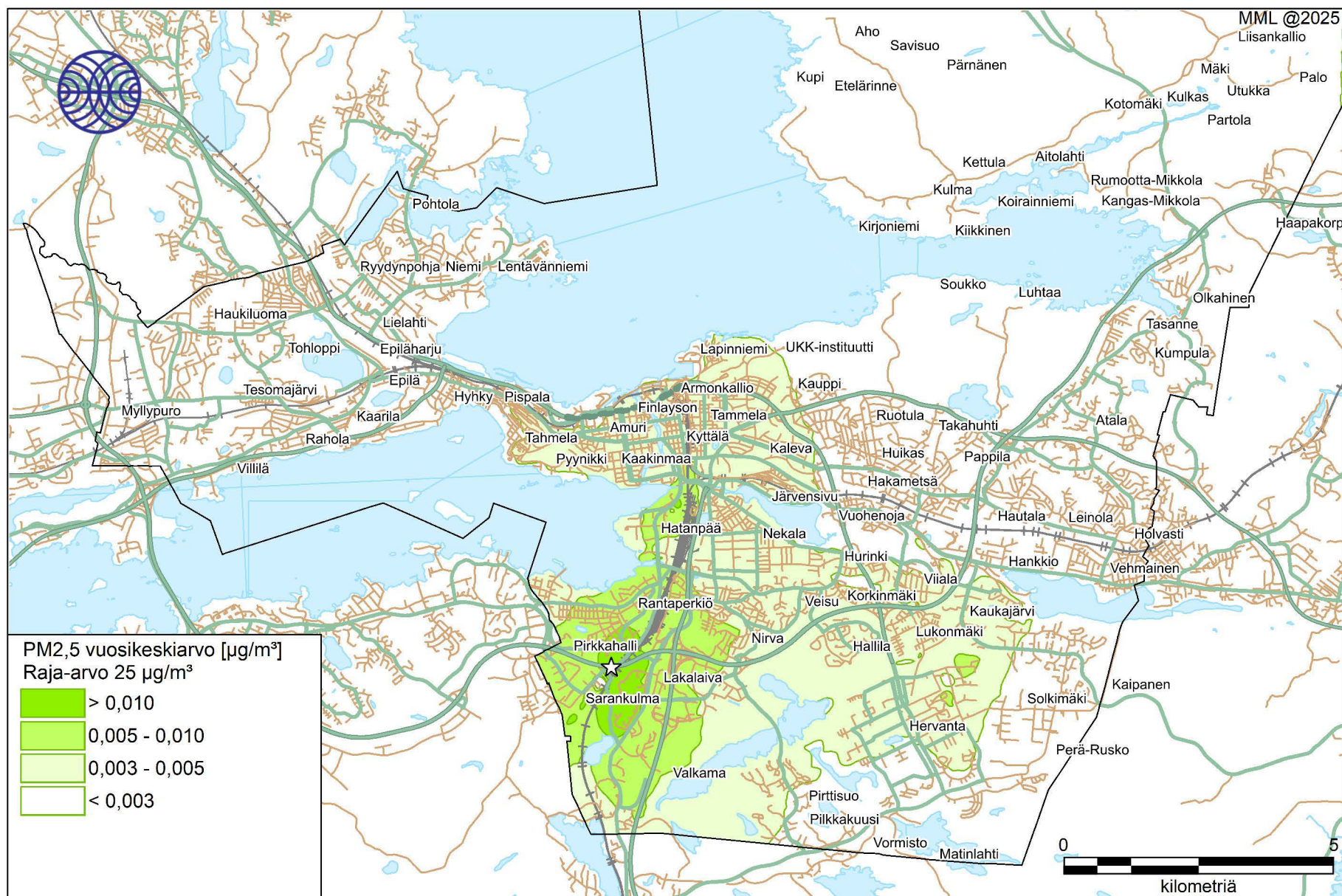
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 33. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

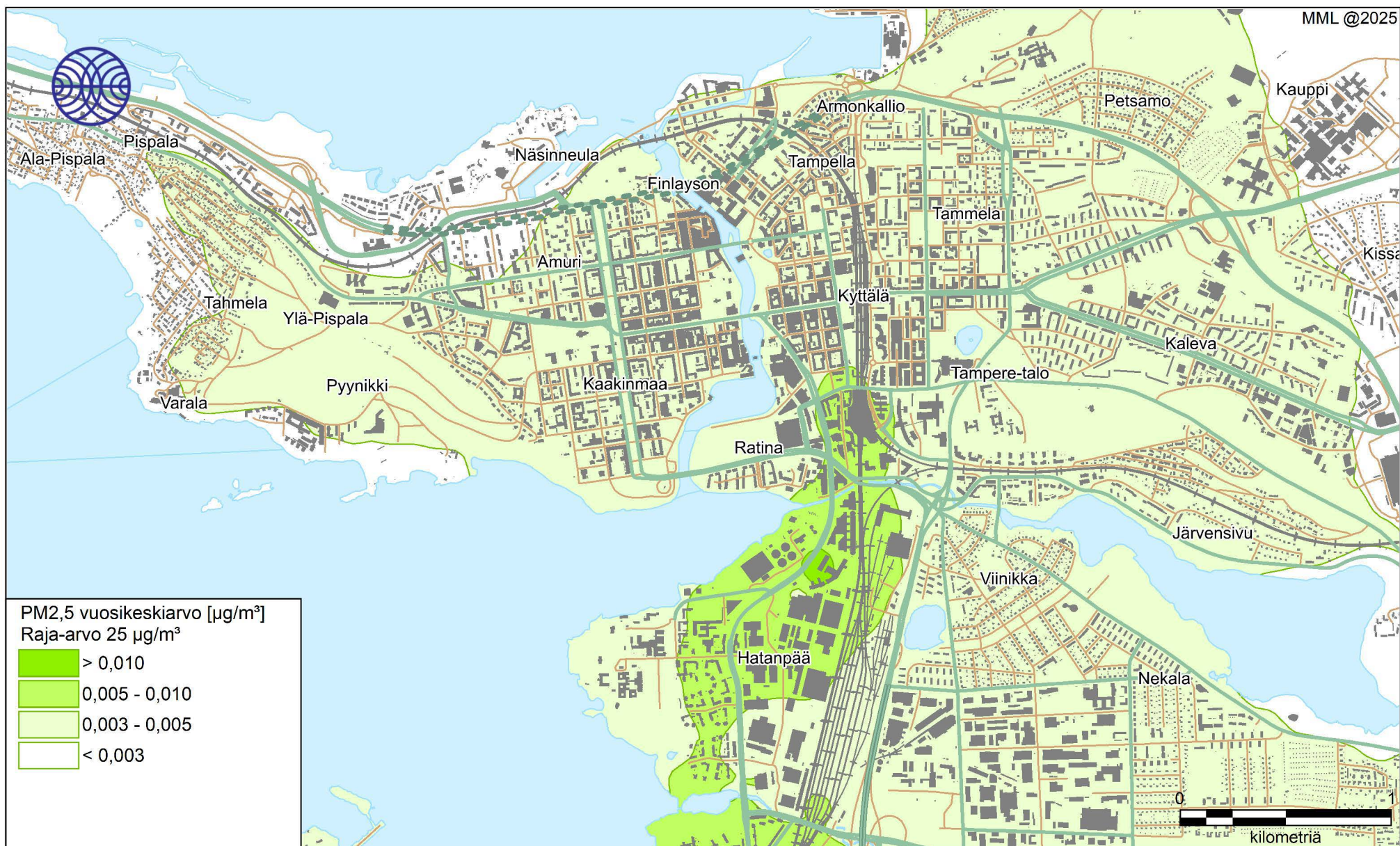
Kuva 34. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

☆ = maksimi = $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 35. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



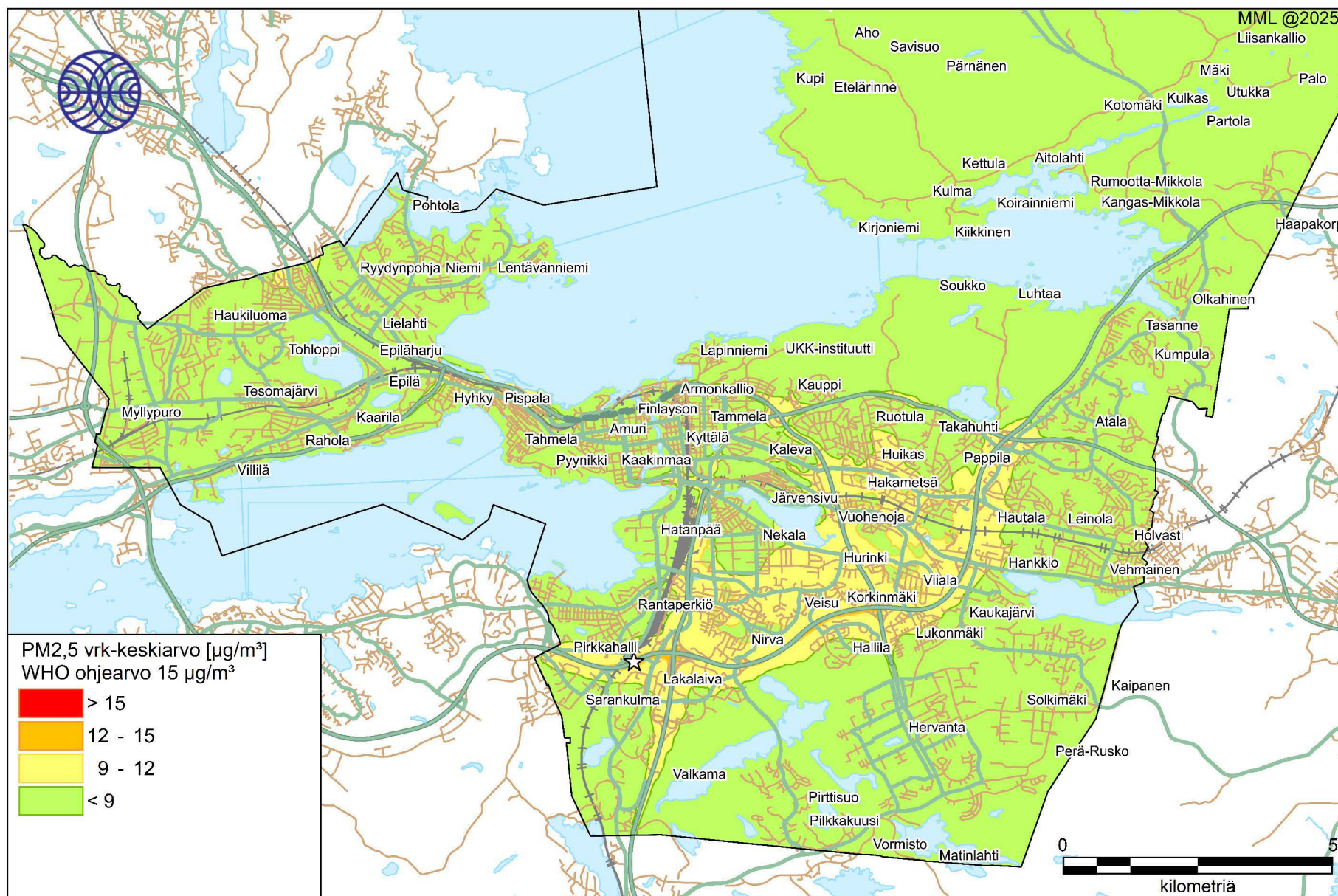
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 36. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



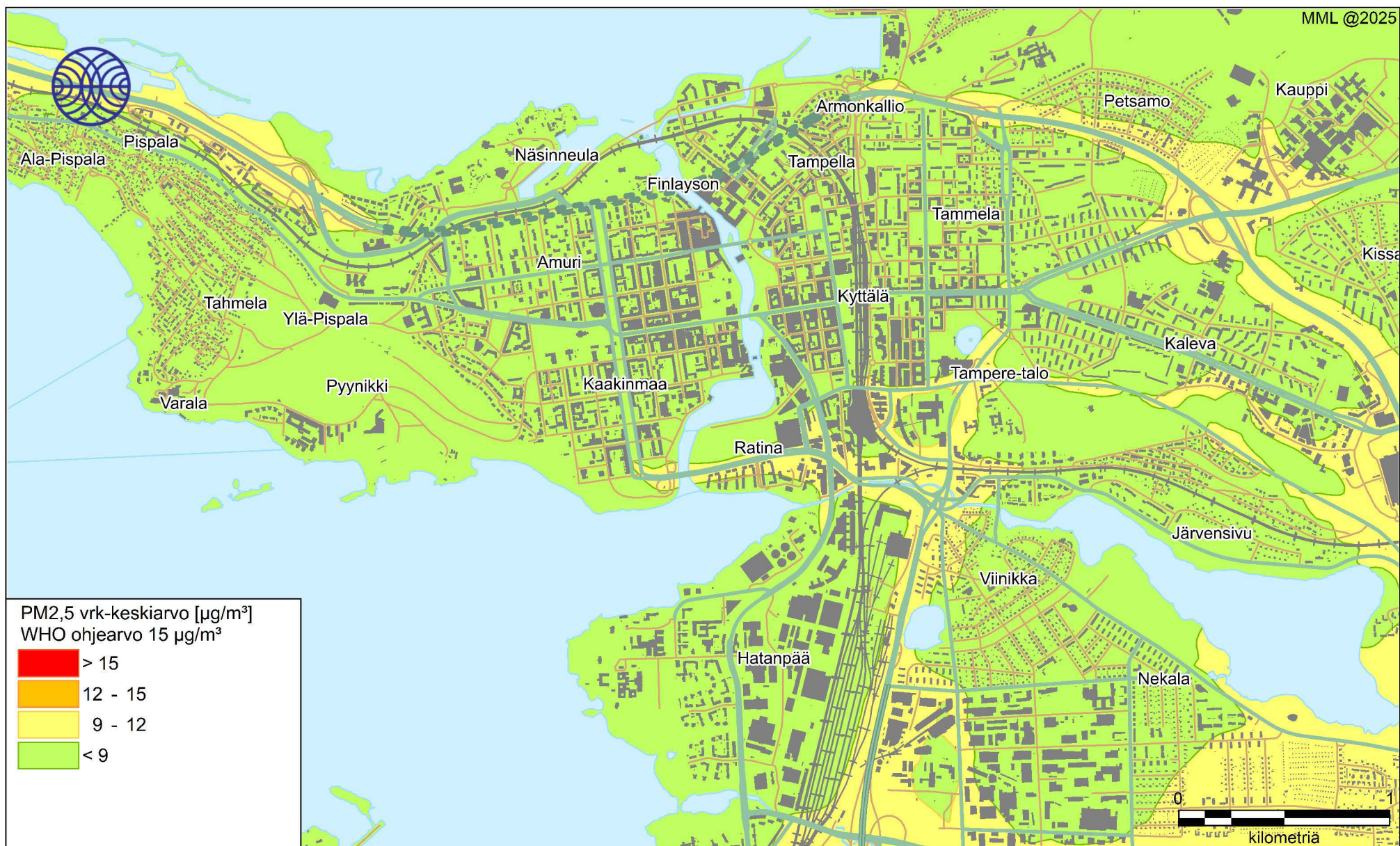
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 37. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



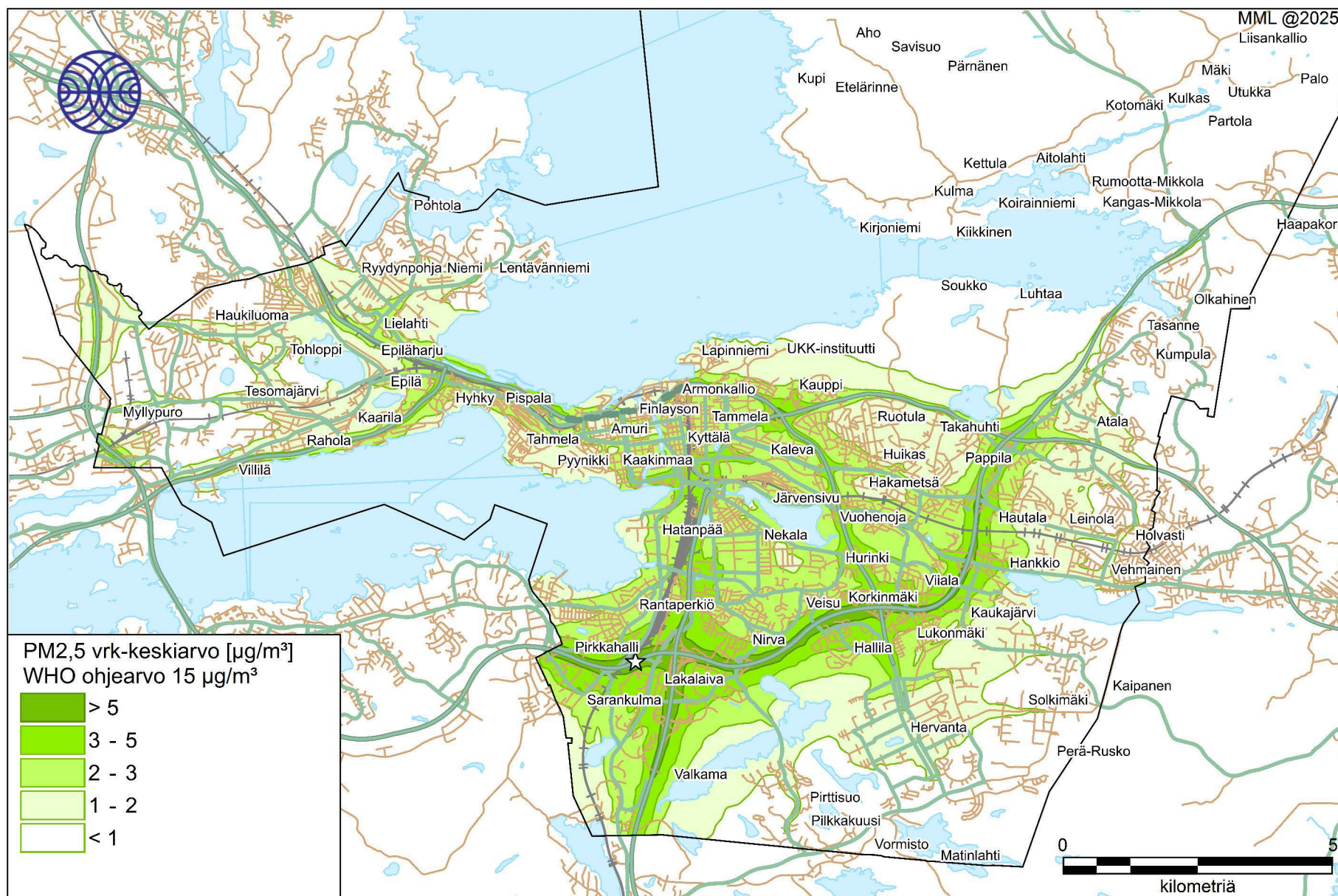
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 38. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



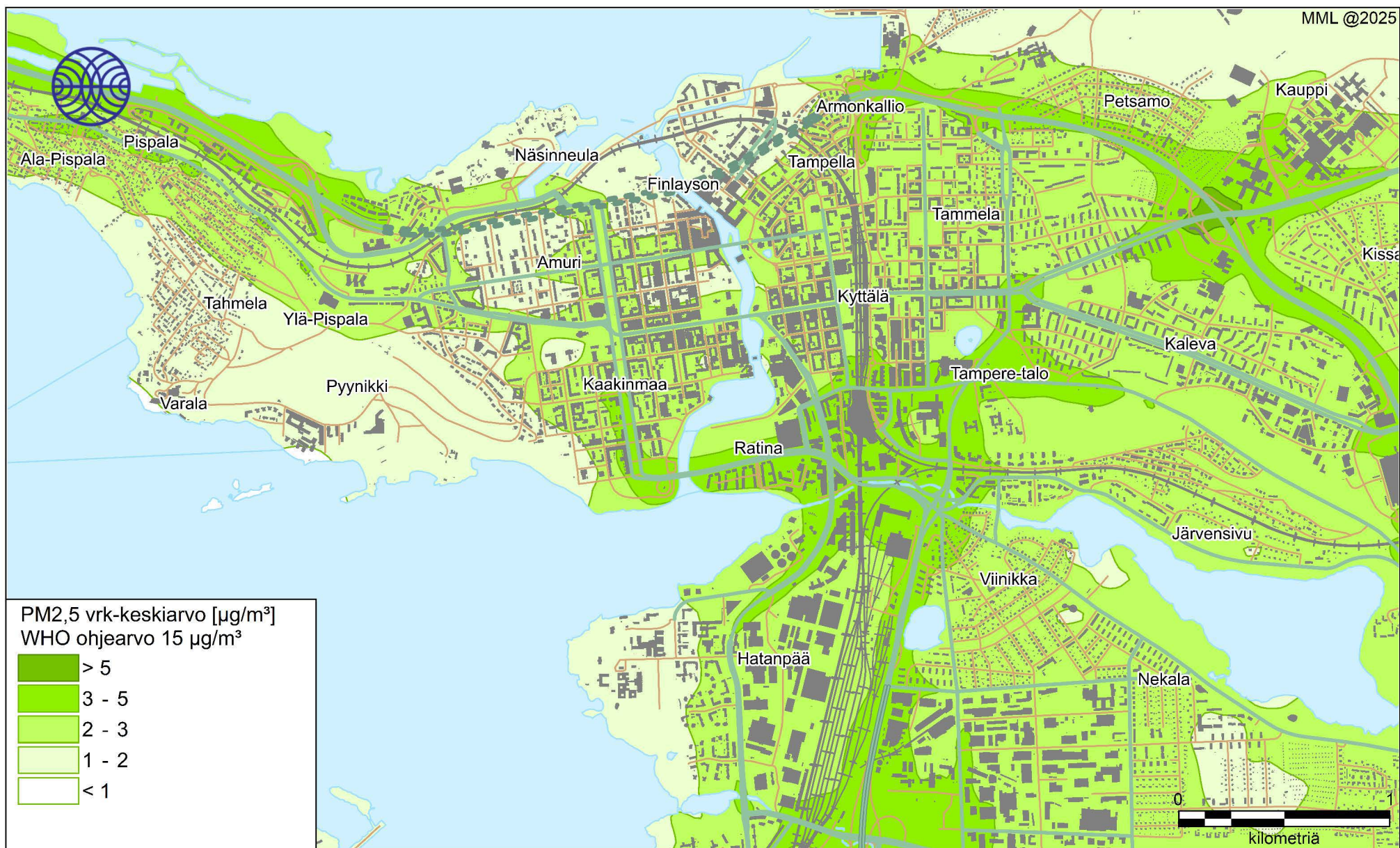
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 39. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



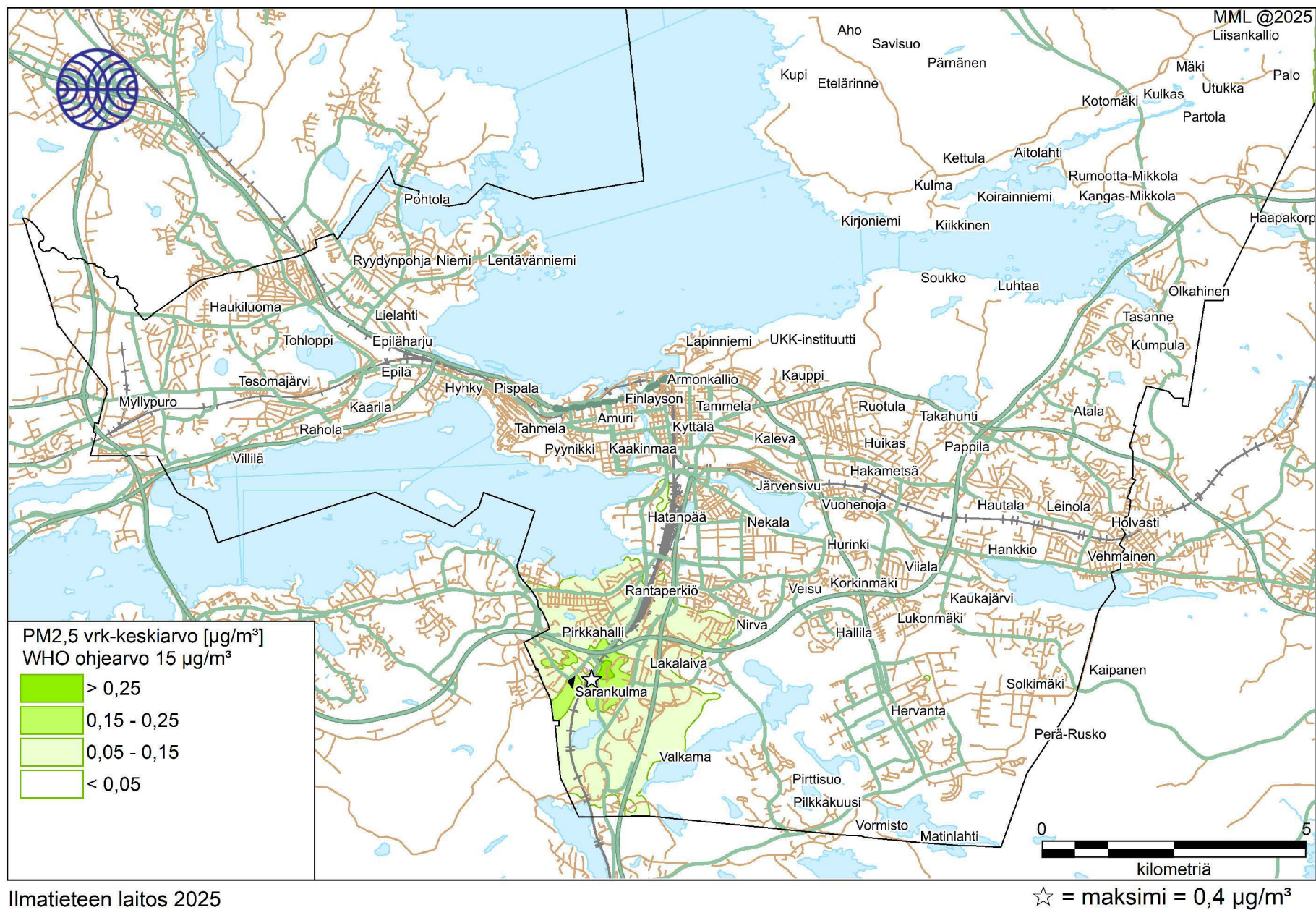
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 40. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



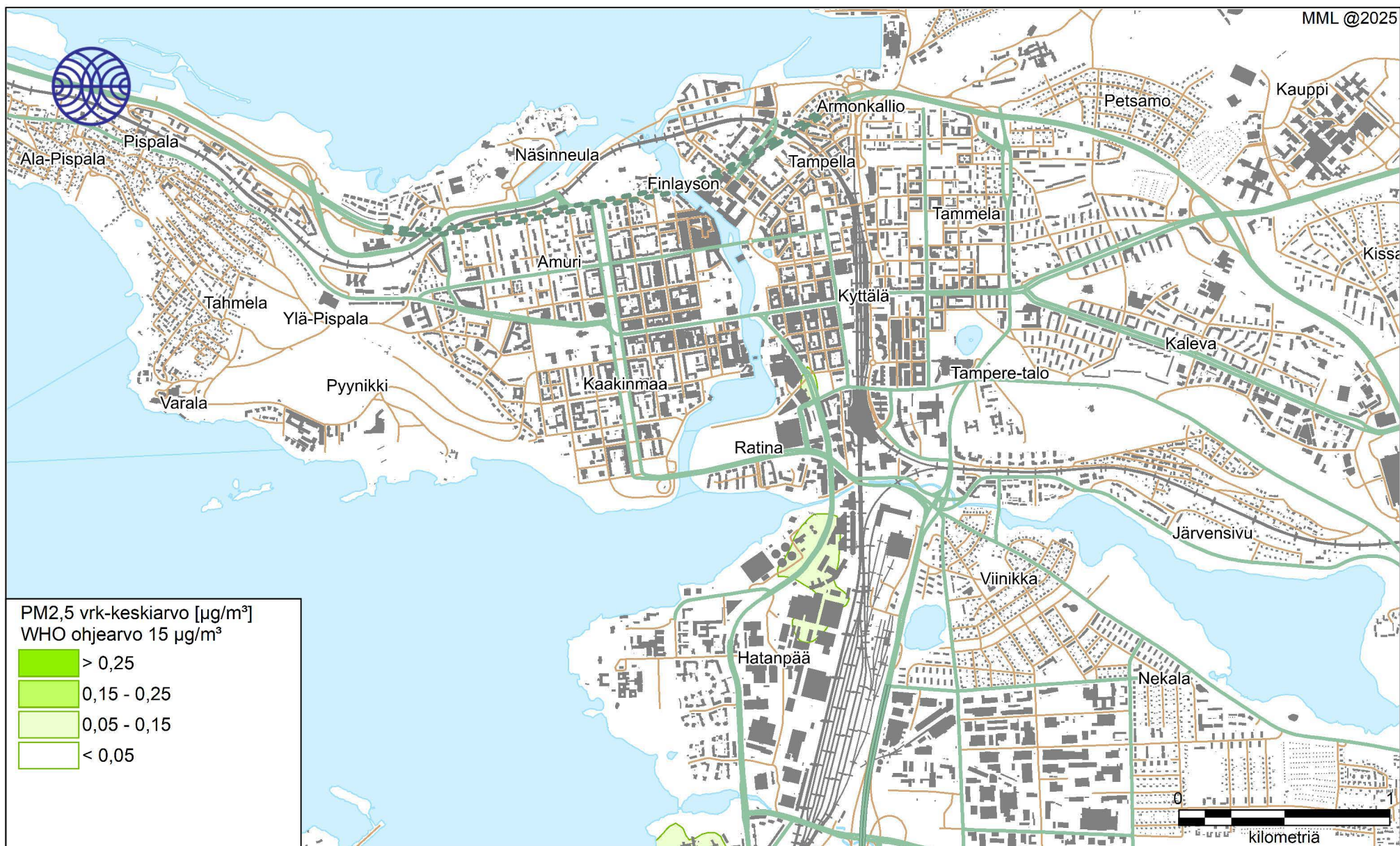
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 41. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



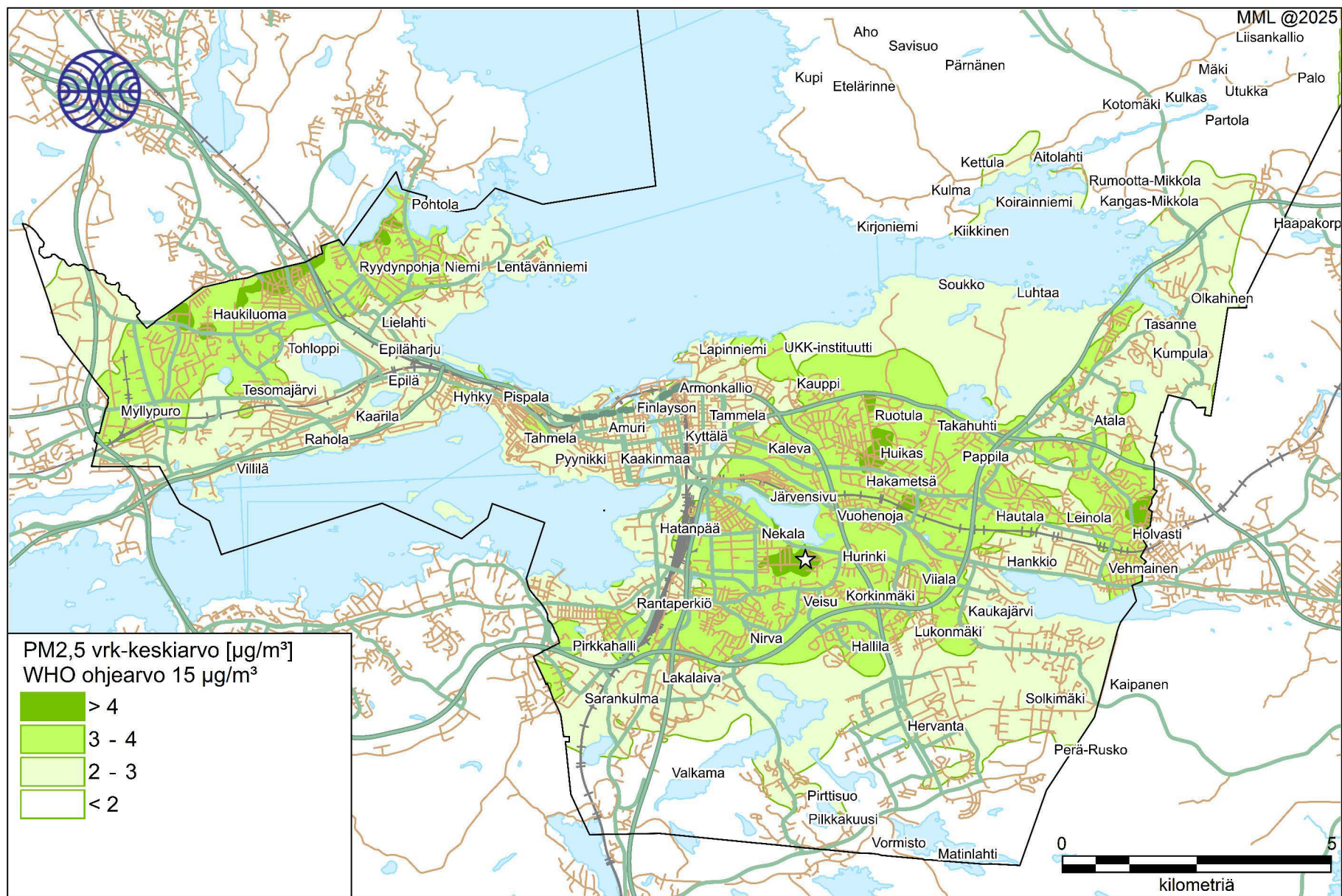
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 42. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



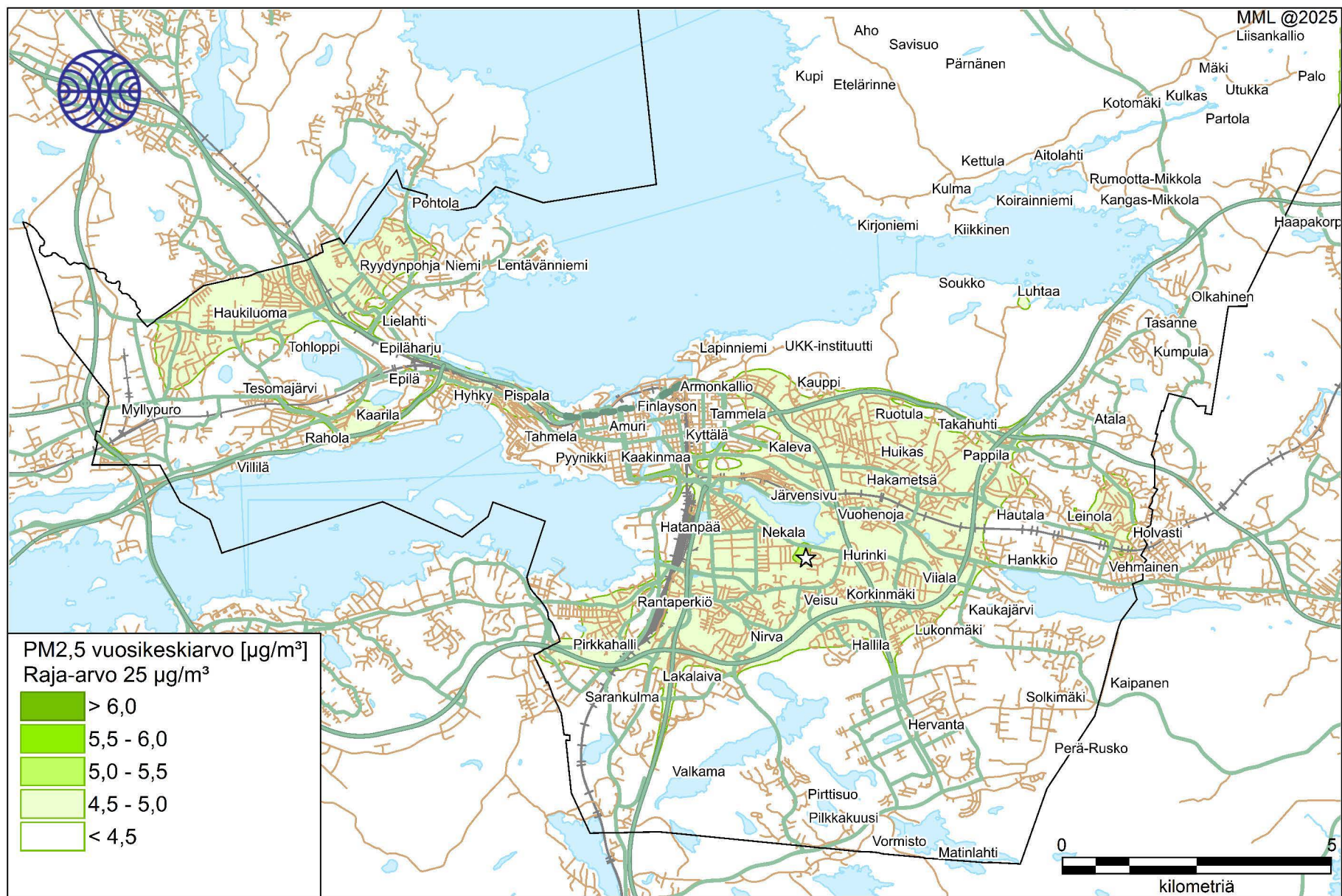
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 43. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



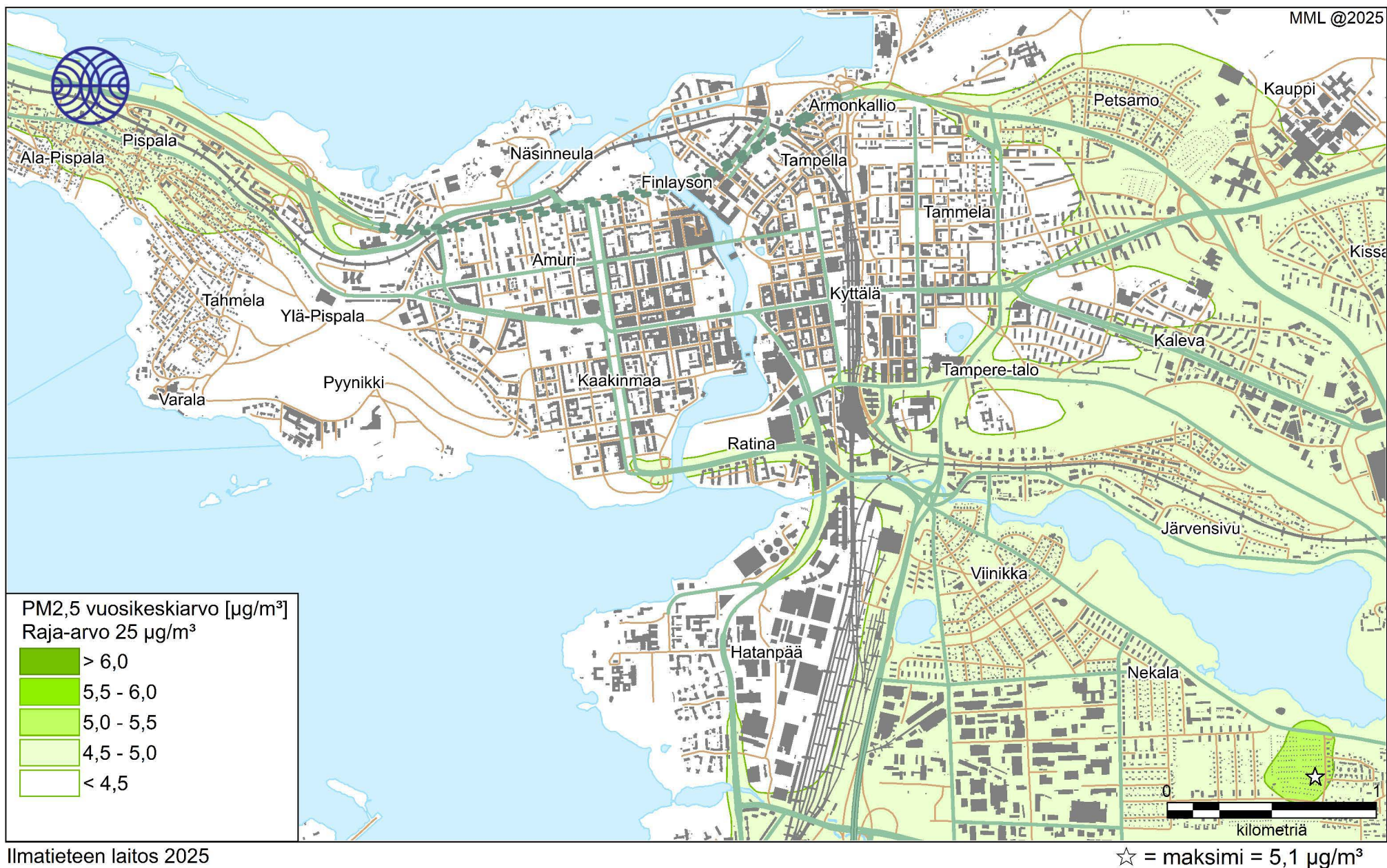
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 44. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.

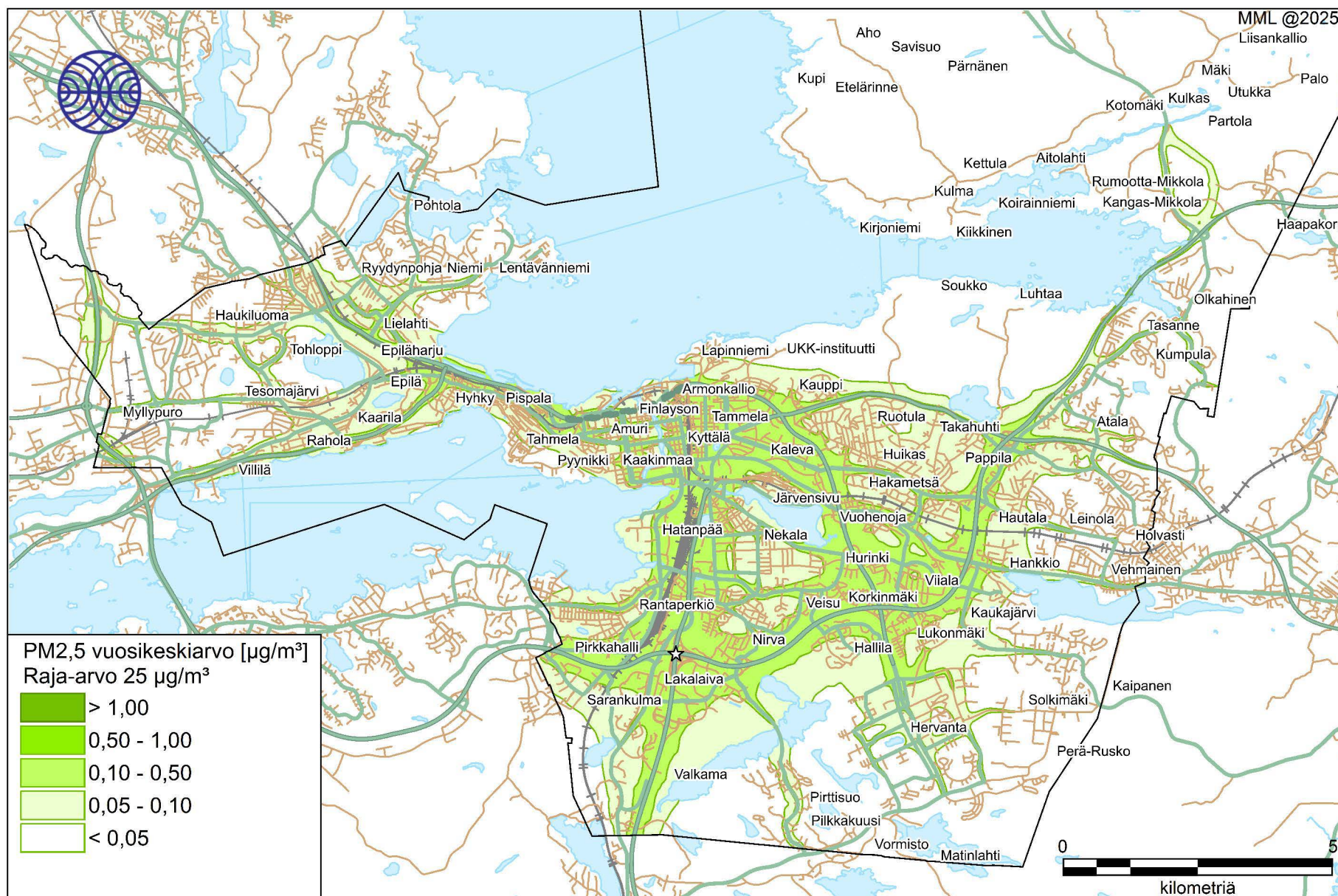


Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 45. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040. Vuosiraja-arvo on 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.

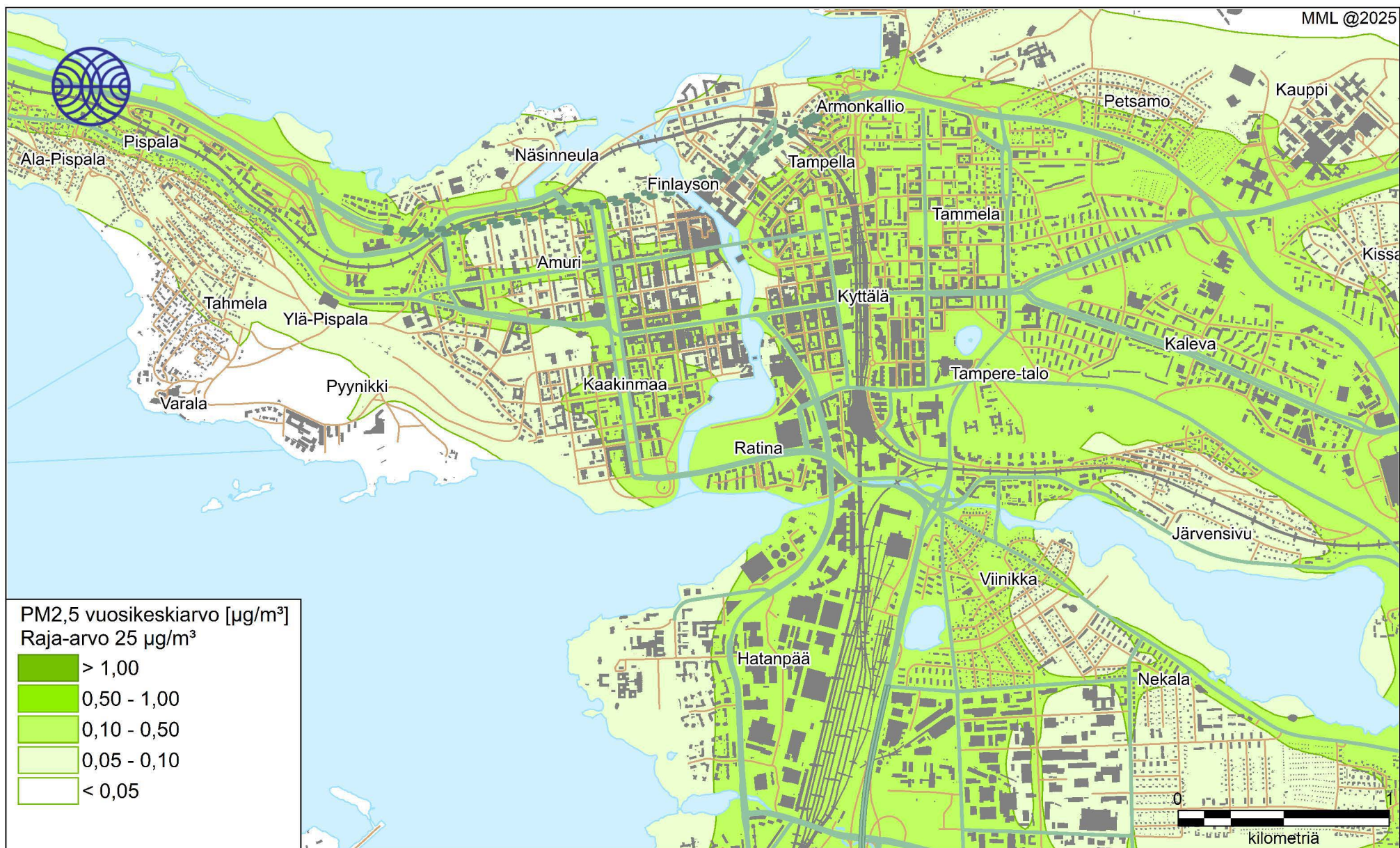


Kuva 46. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040. Vuosiraja-arvo on 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



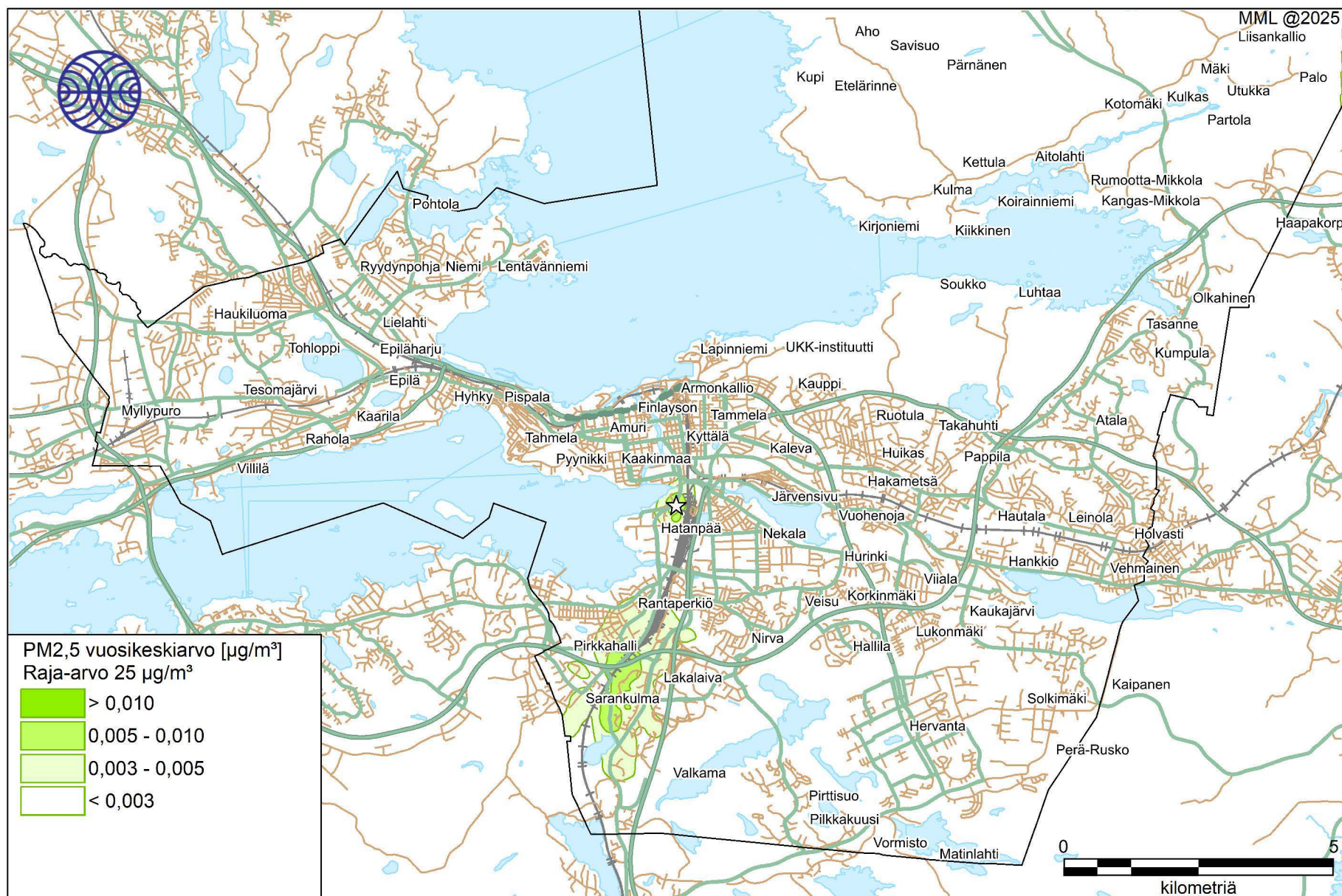
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 47. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus vuonna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

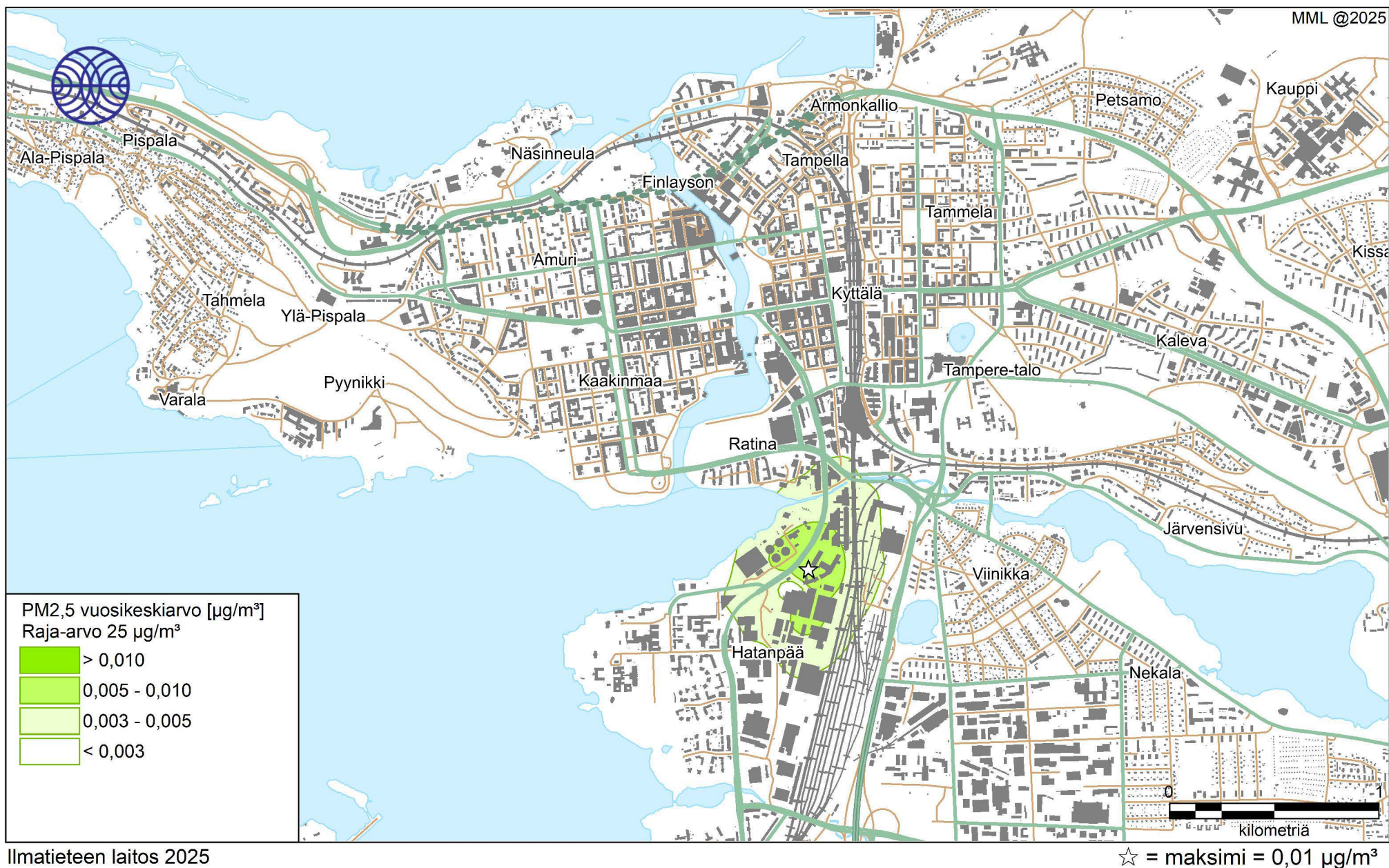
Kuva 48. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



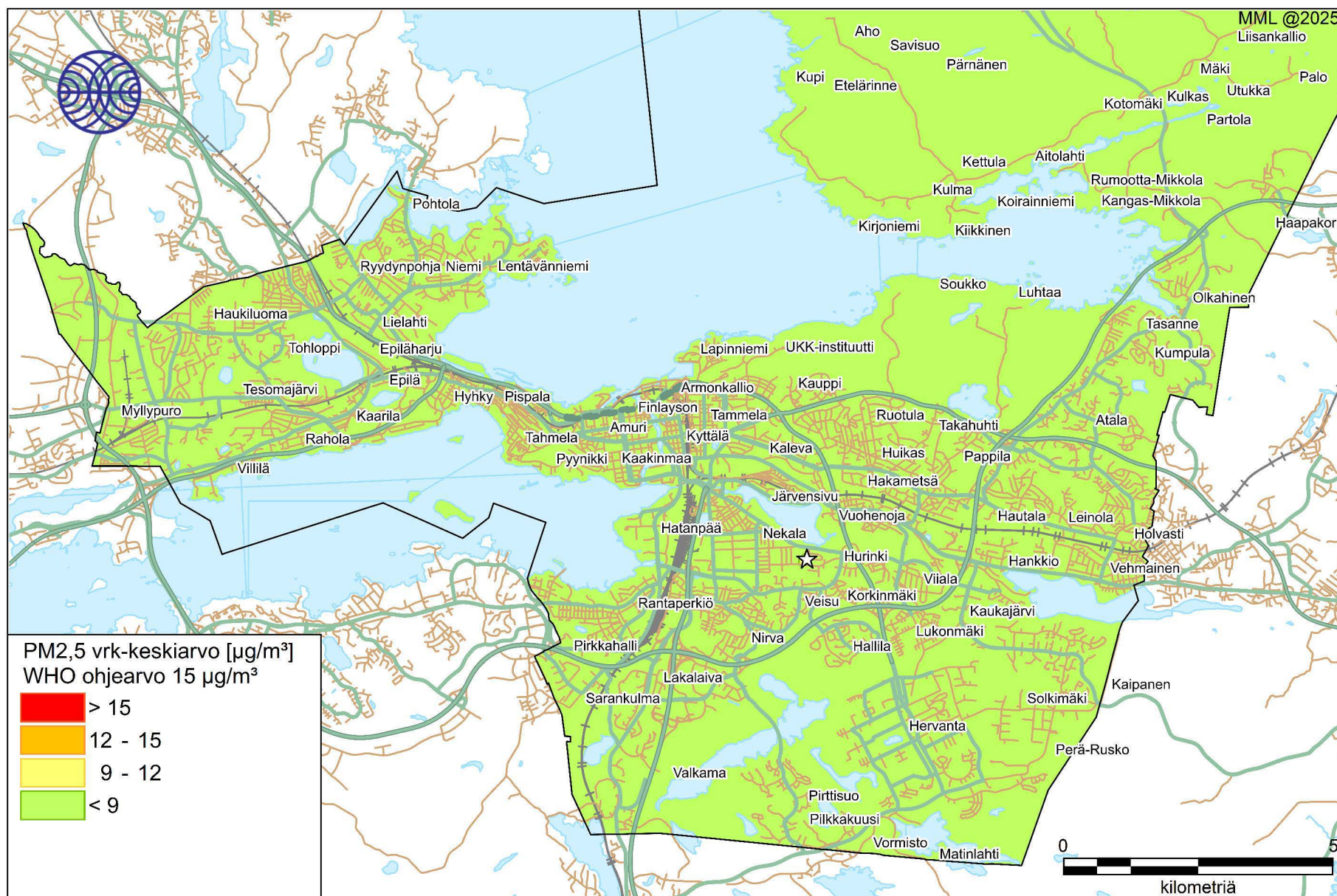
Ilmatieteen laitos 2025

☆ = maksimi = 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 49. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.

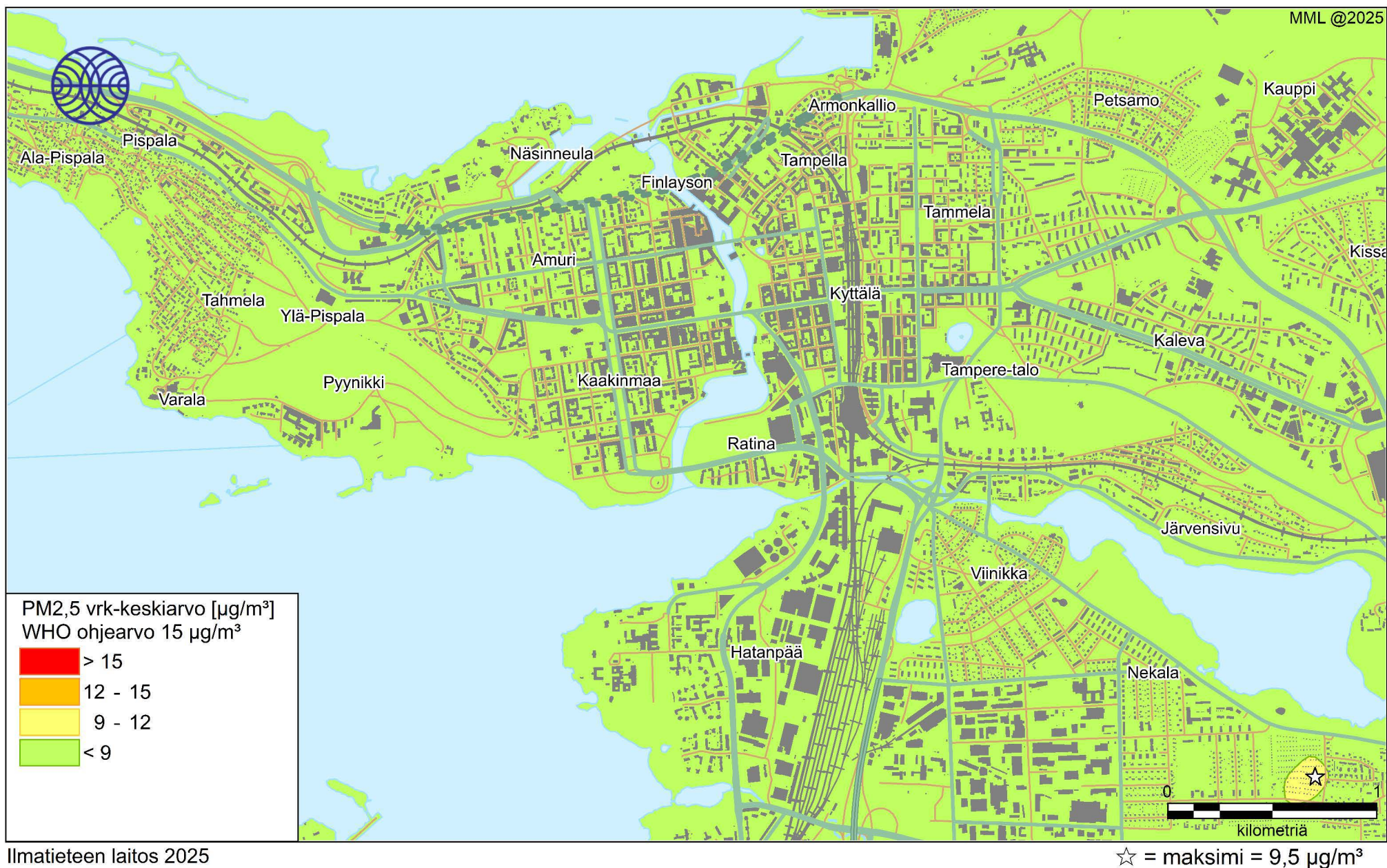


Kuva 50. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.

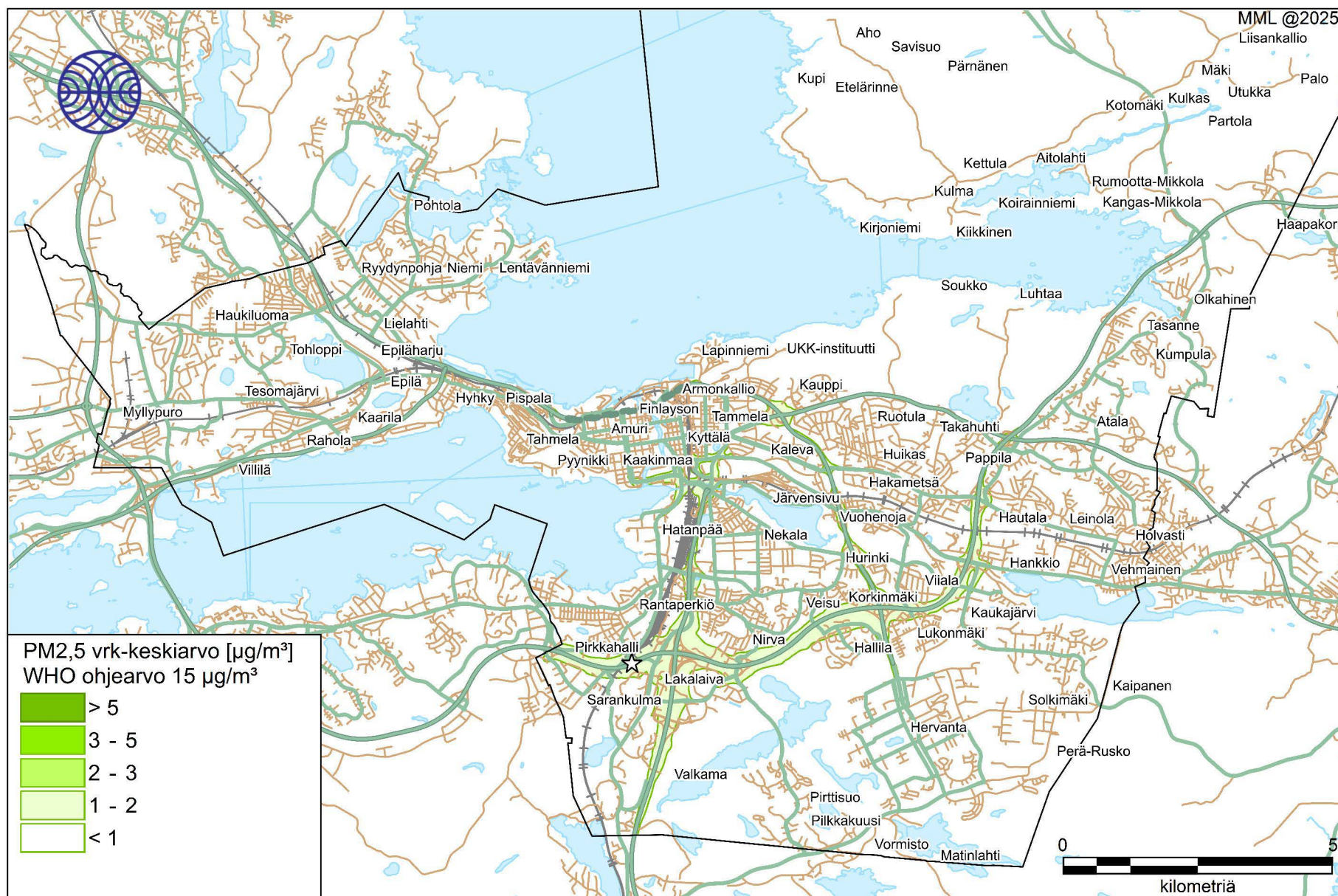


Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 51. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.

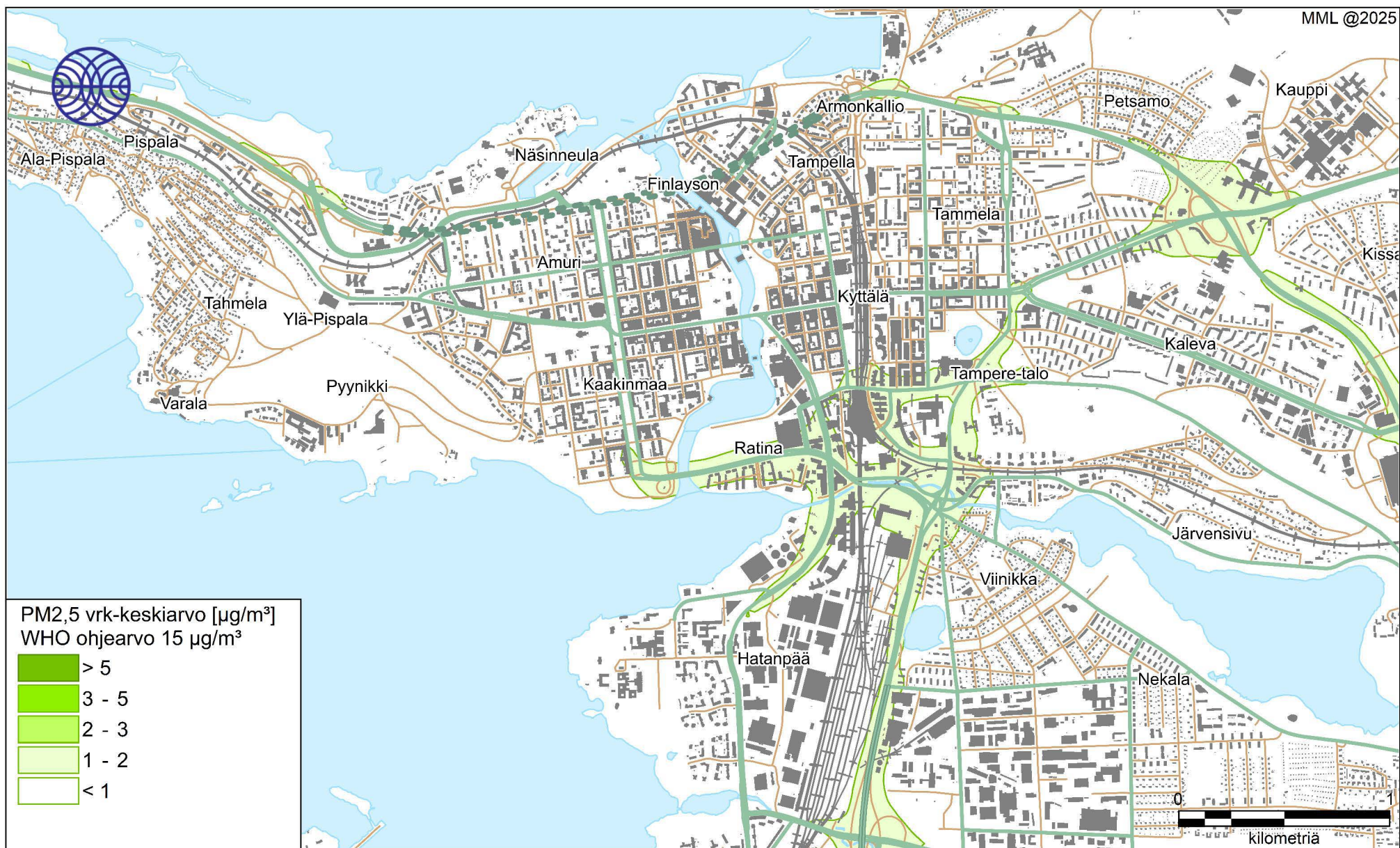


Kuva 52. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



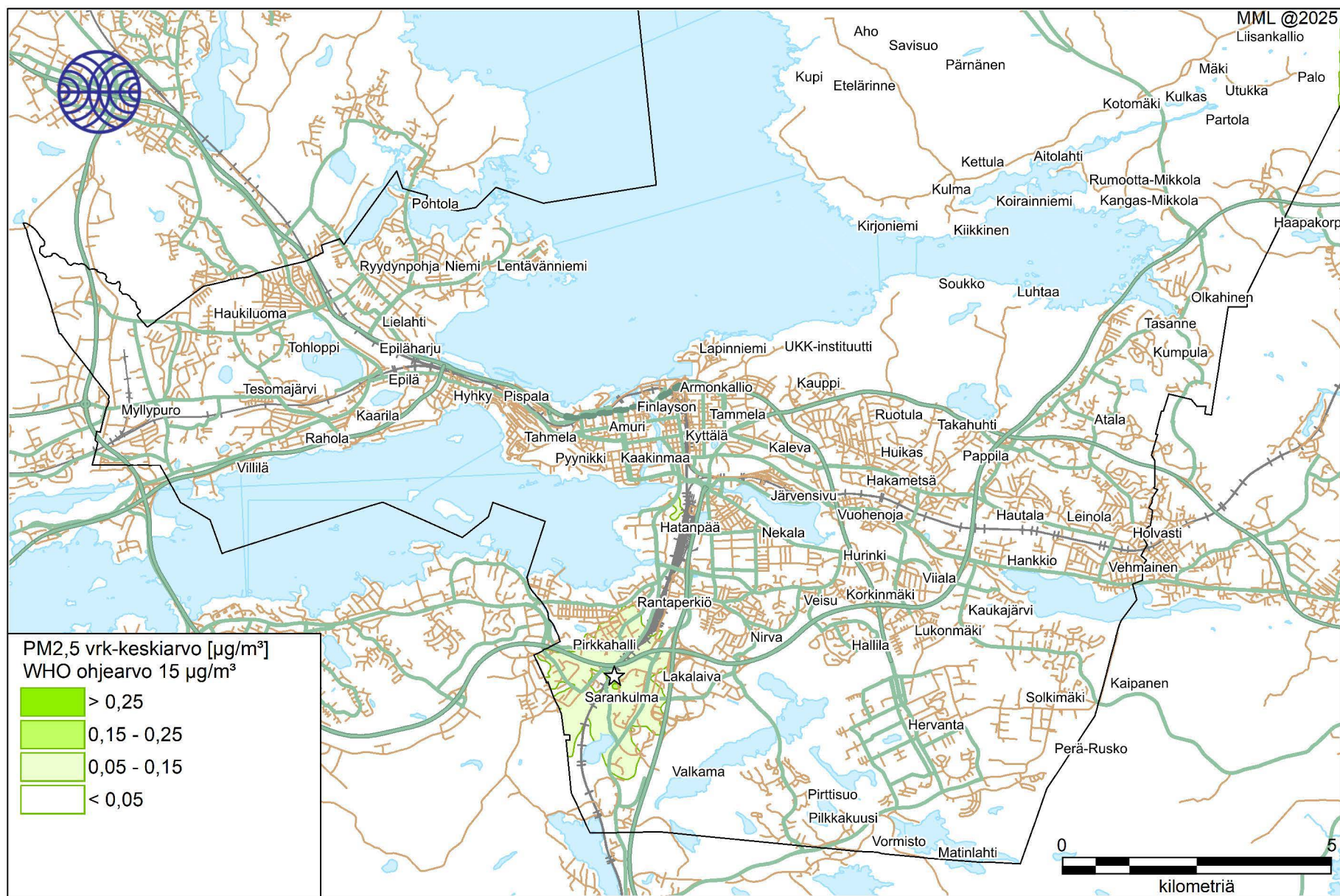
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 53. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



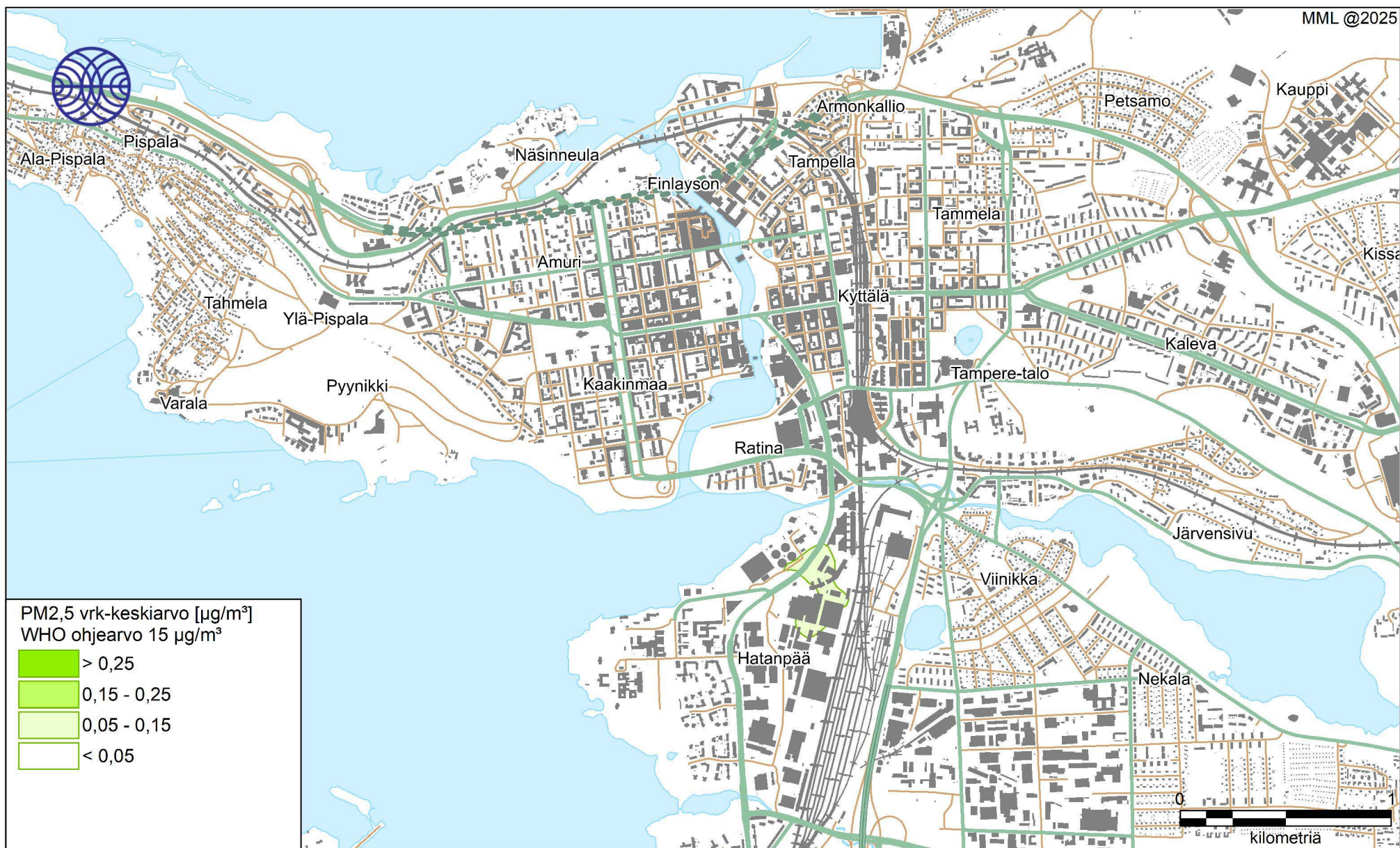
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 54. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausi-ohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



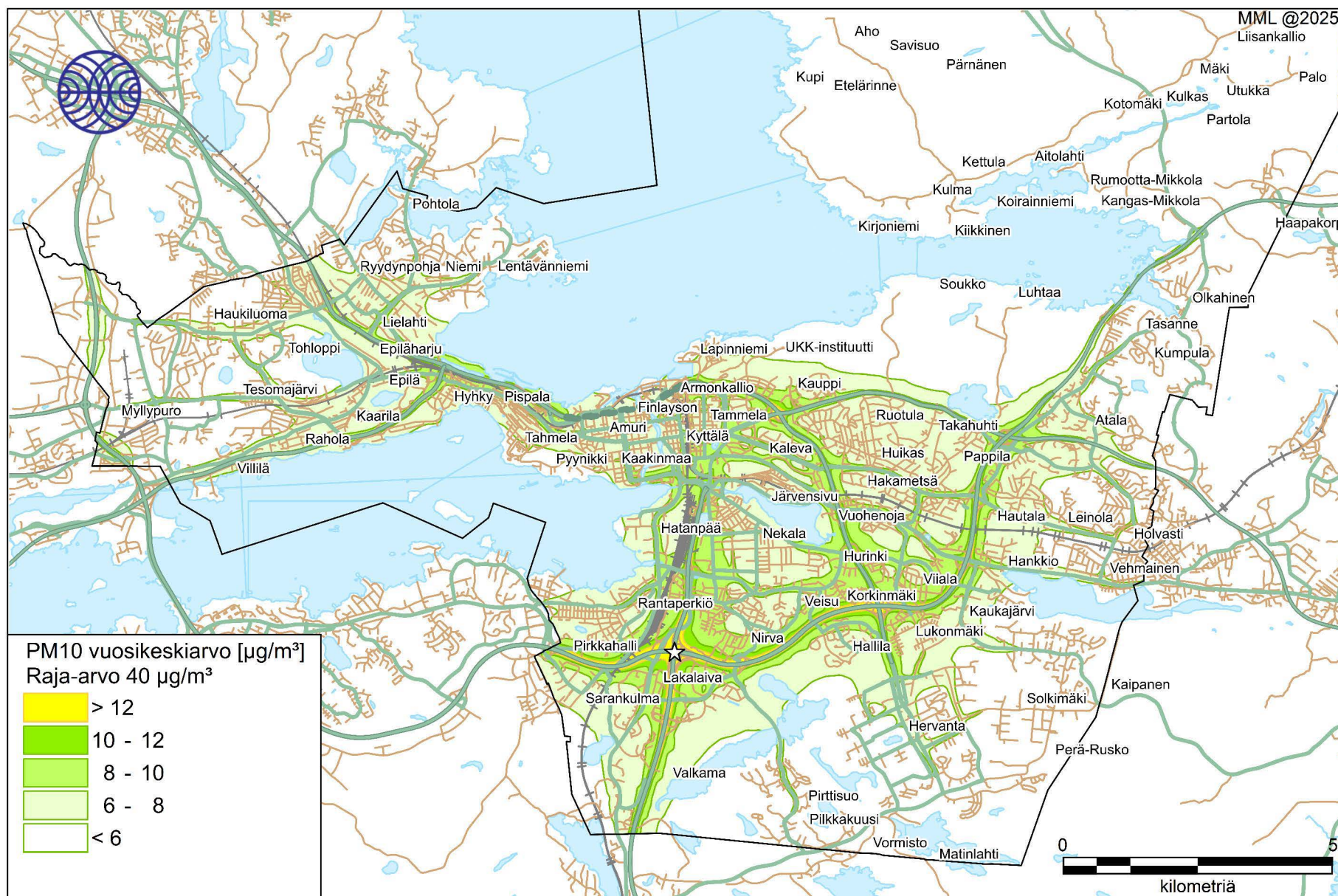
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 55. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



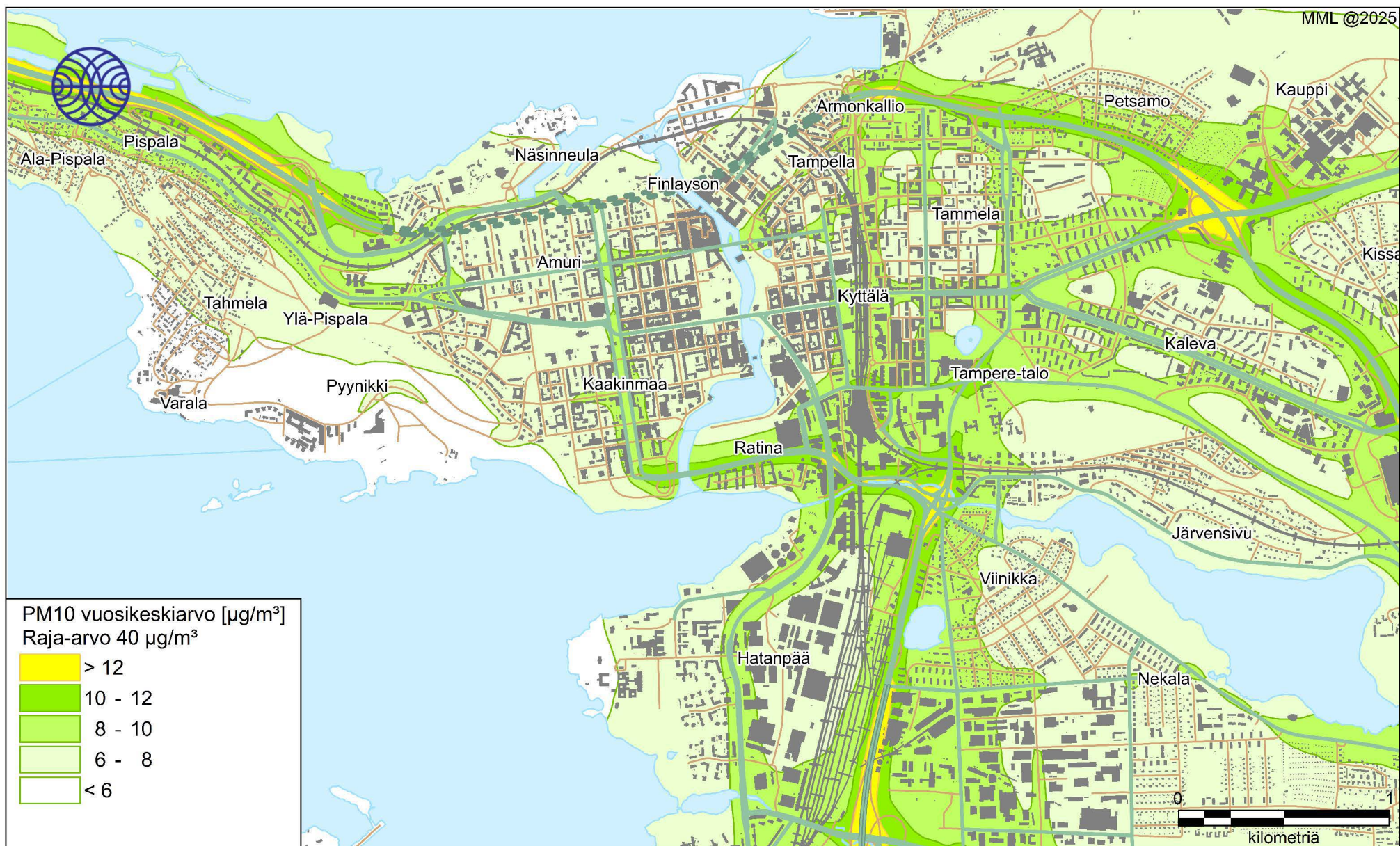
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 56. Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



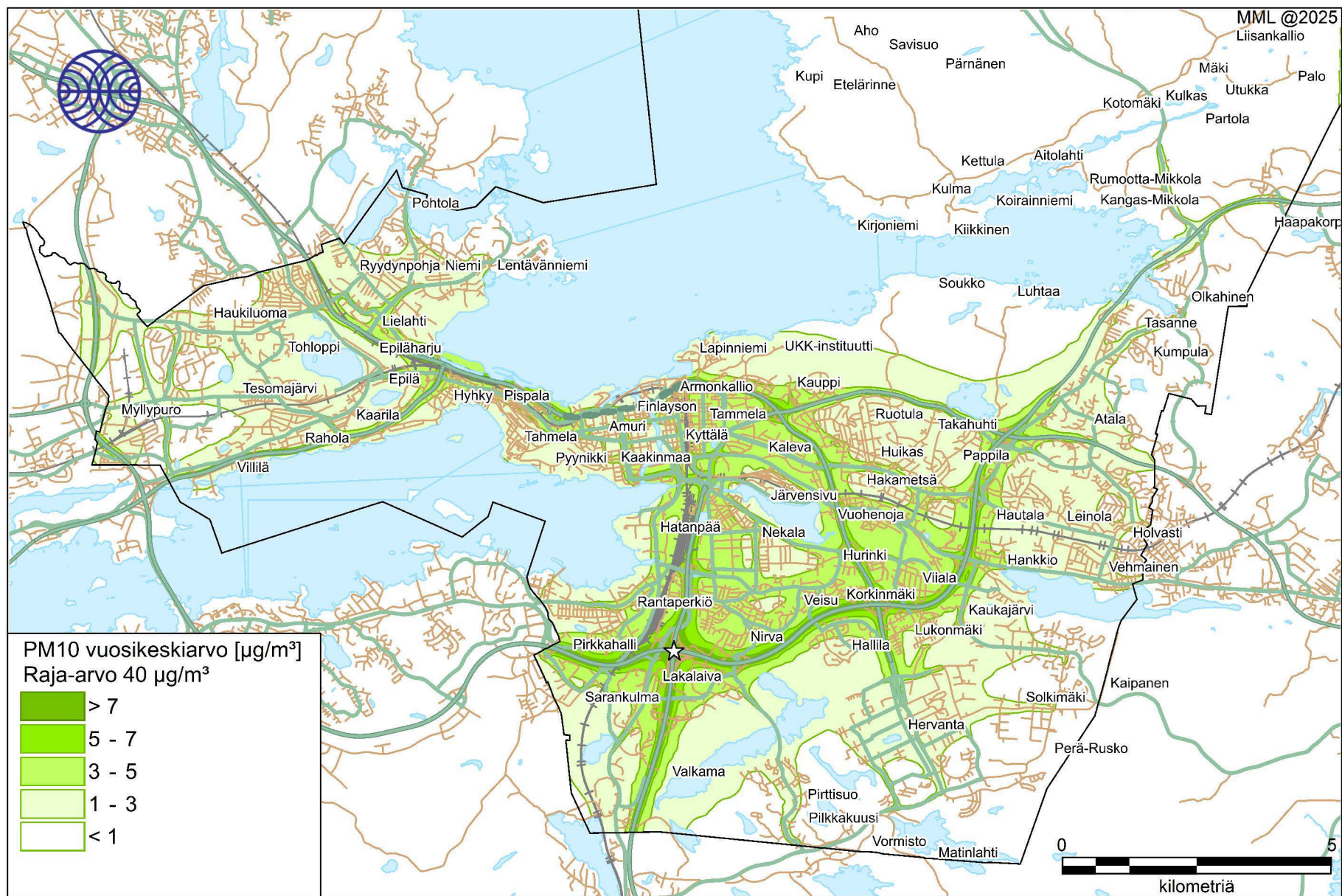
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 57. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa. Vuosiraja-arvo $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2030 alkaen.



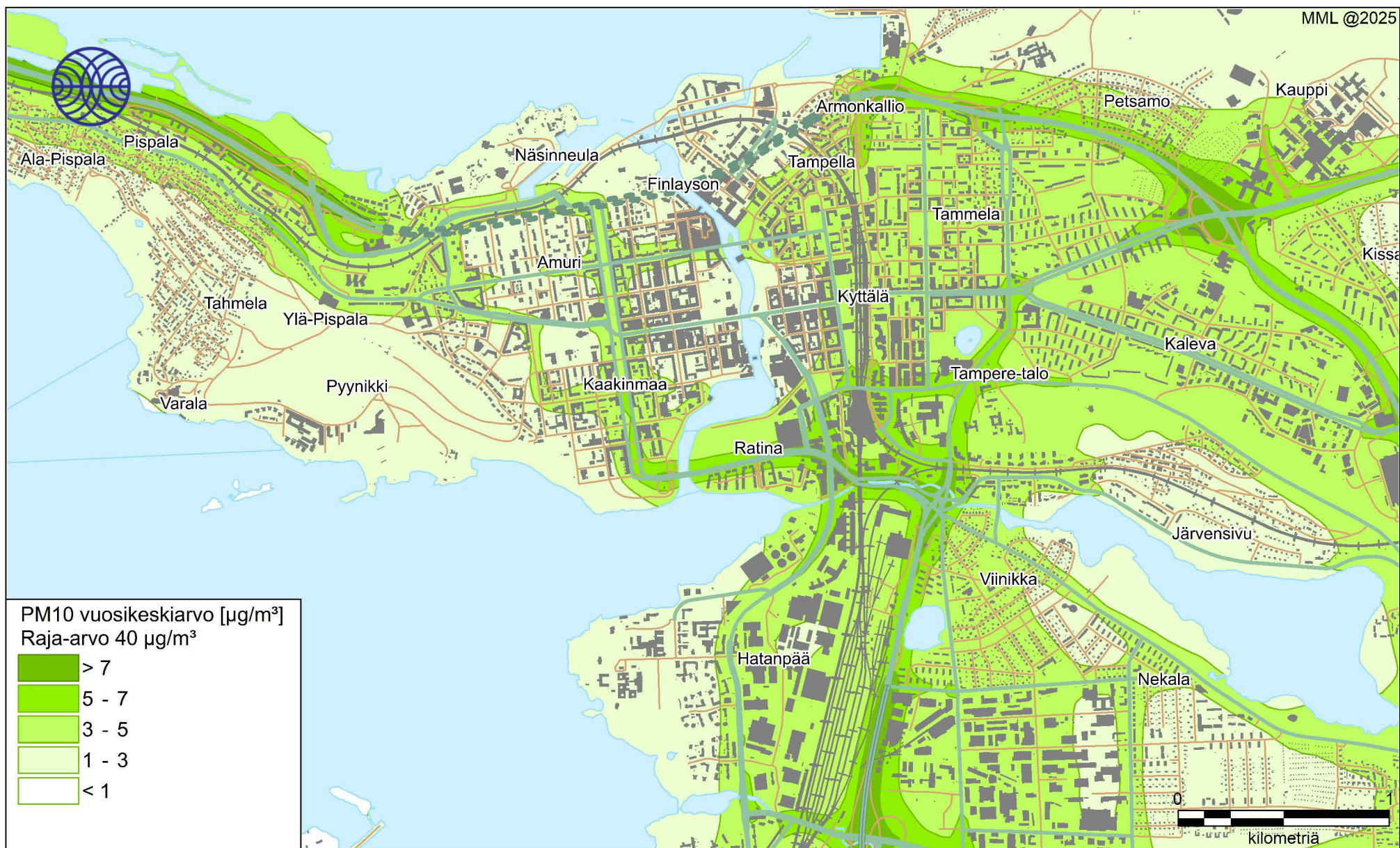
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 58. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa. Vuosiraja-arvo on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



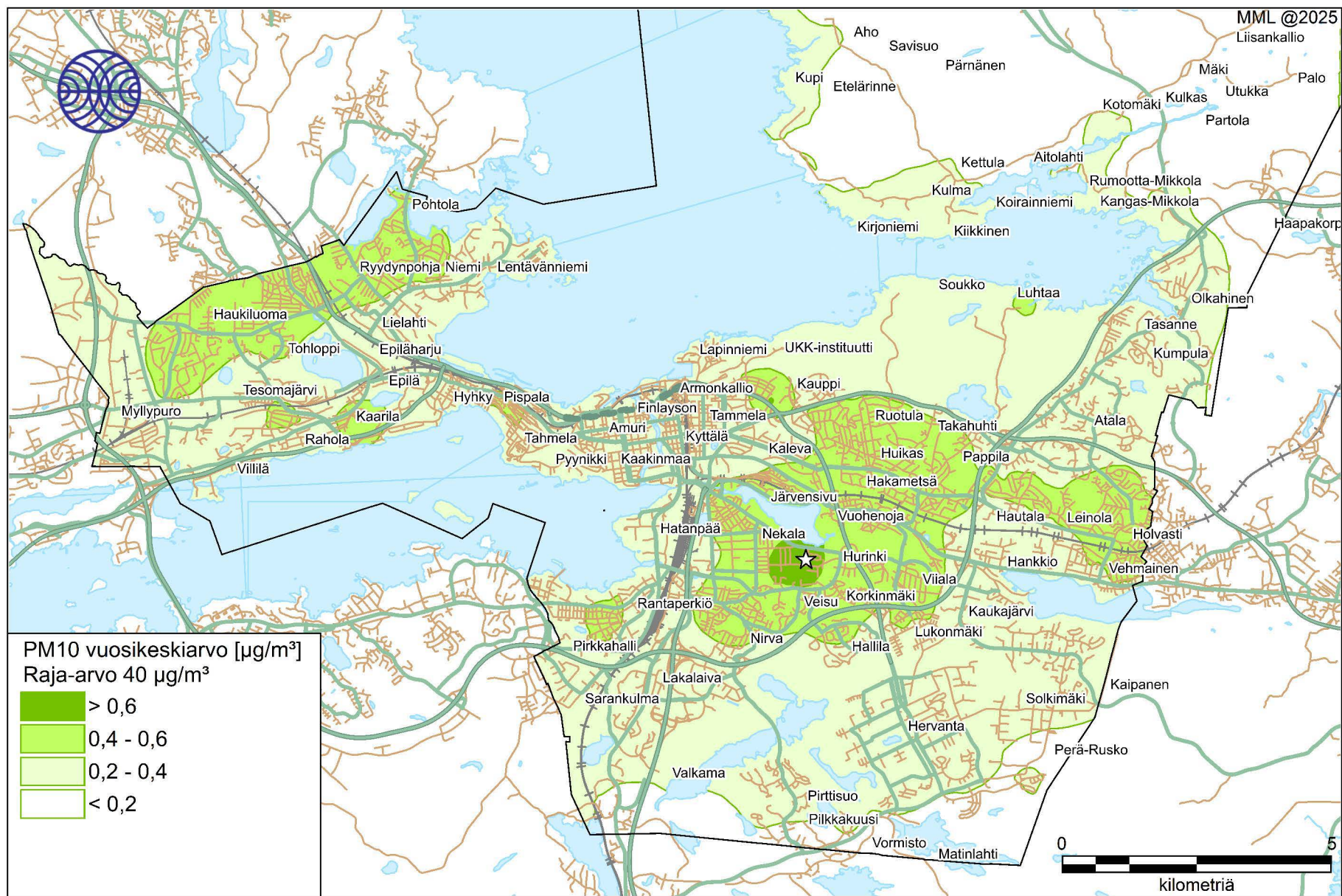
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 59. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

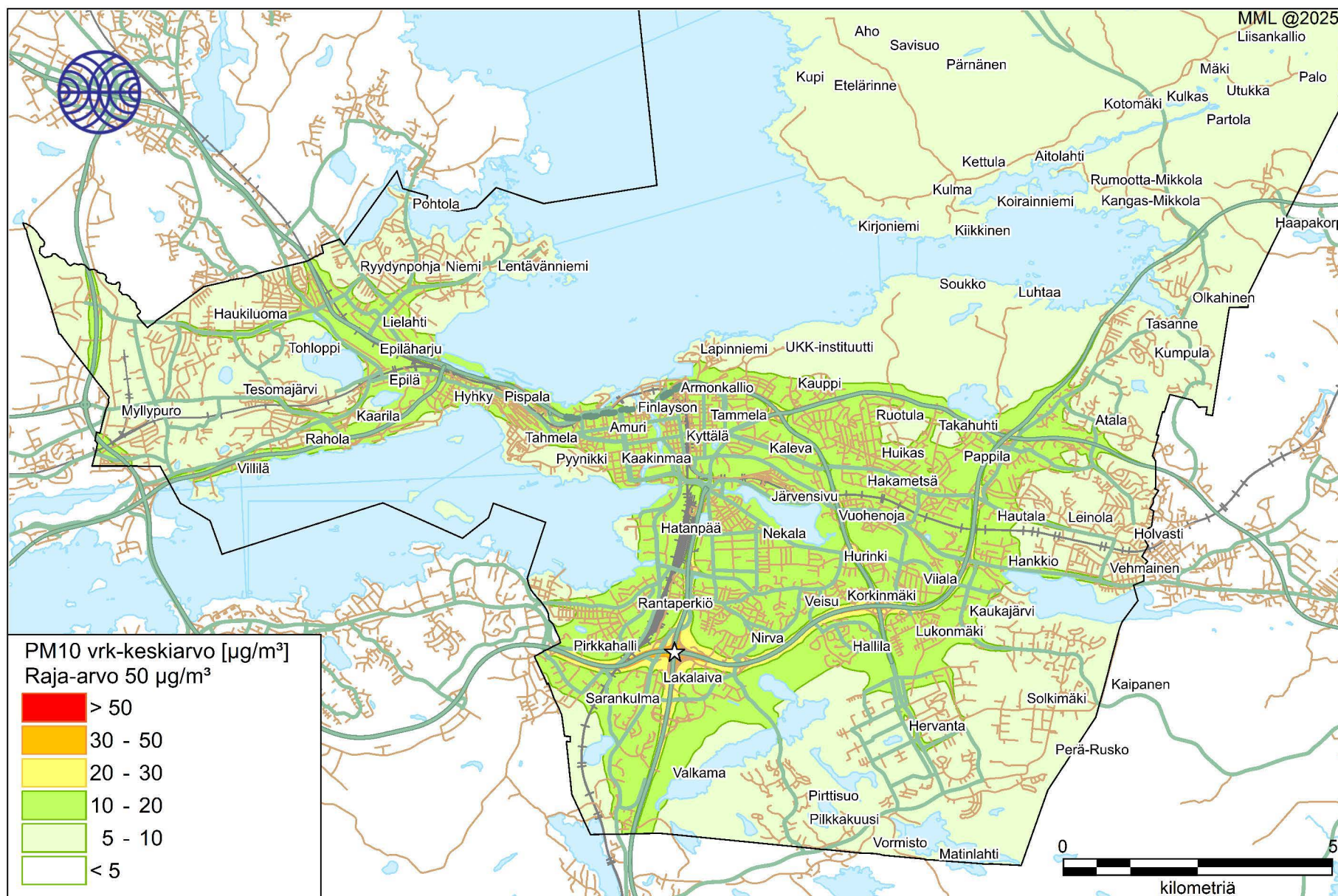
Kuva 60. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

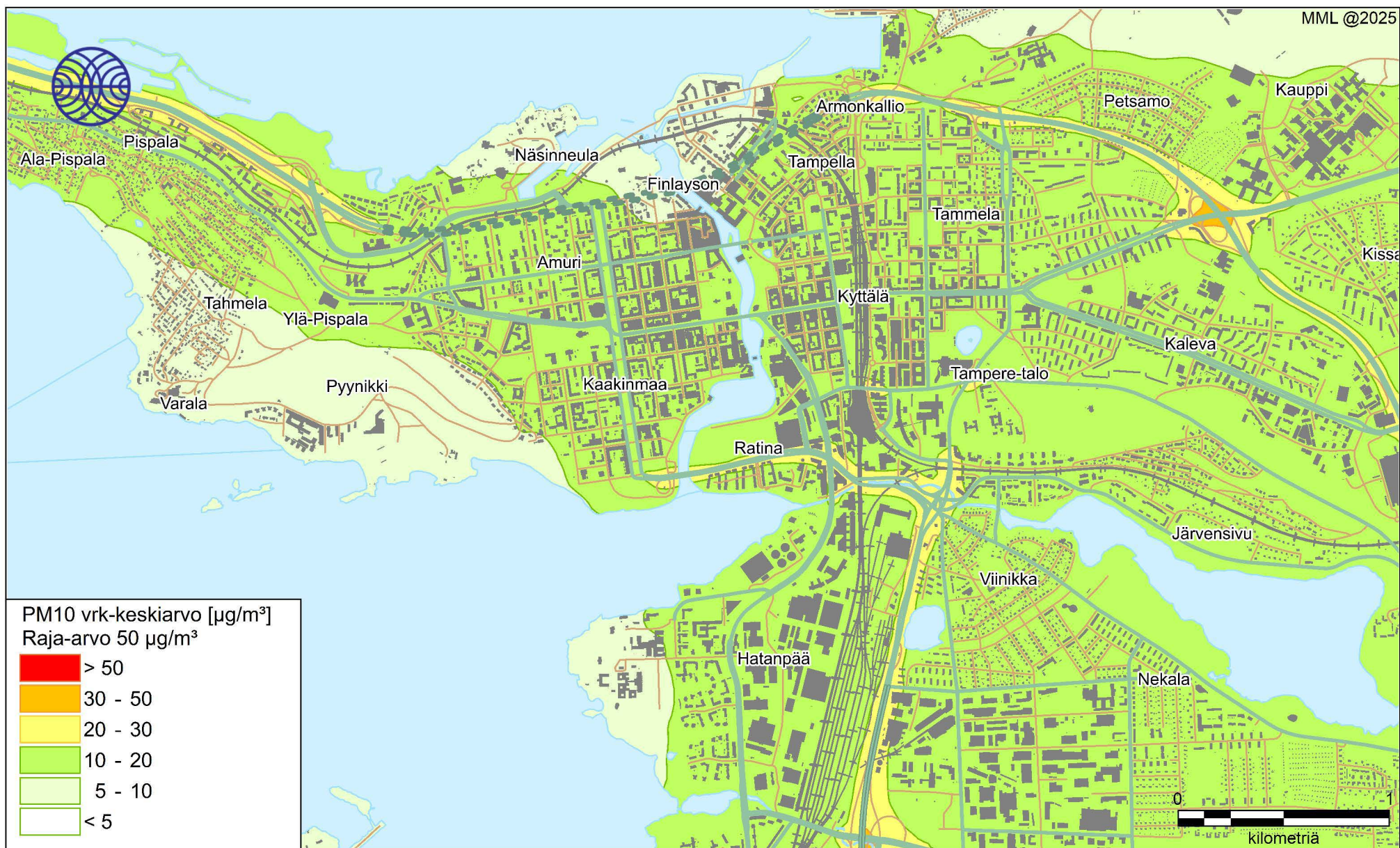
☆ = maksimi = $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 61. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



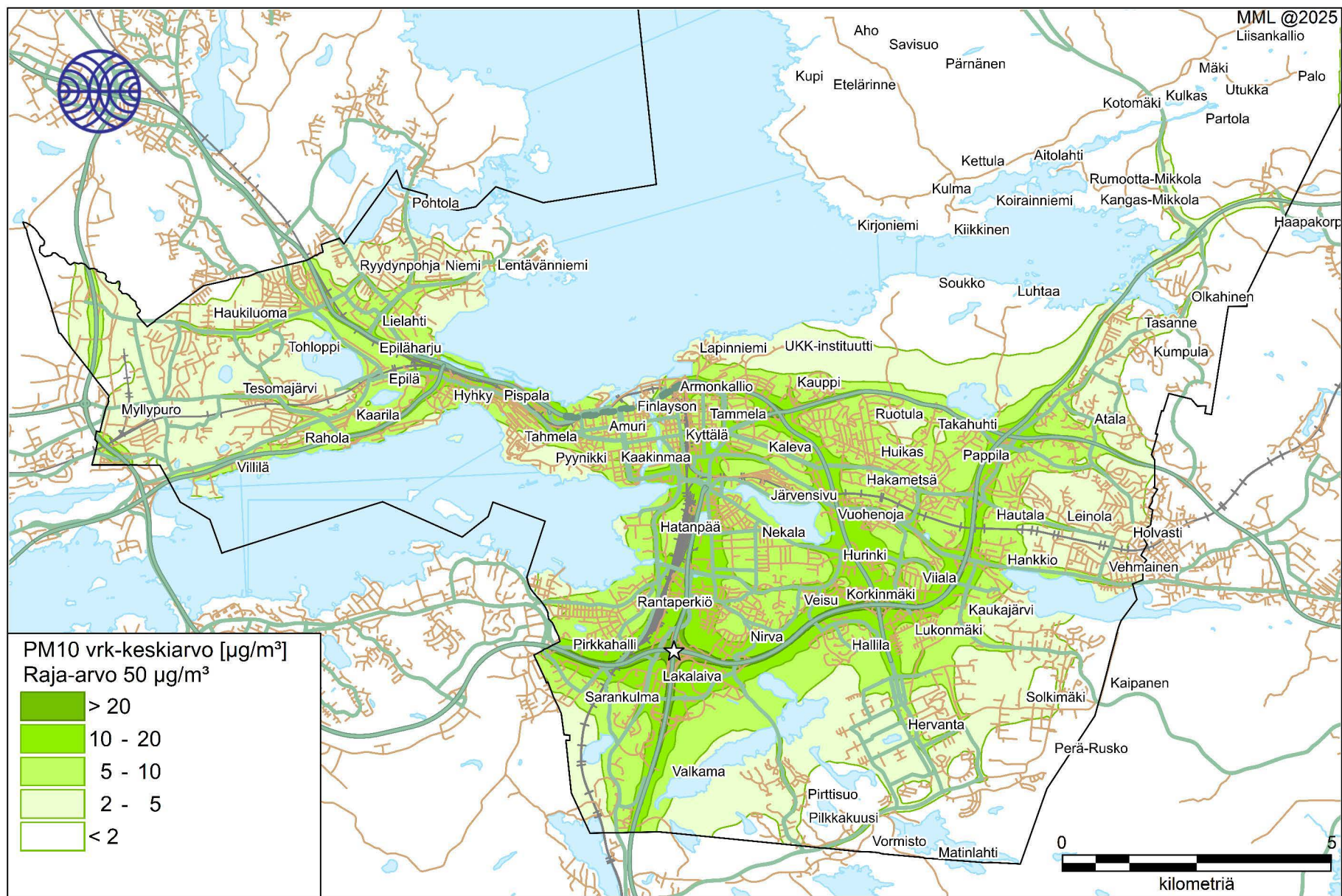
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 62. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



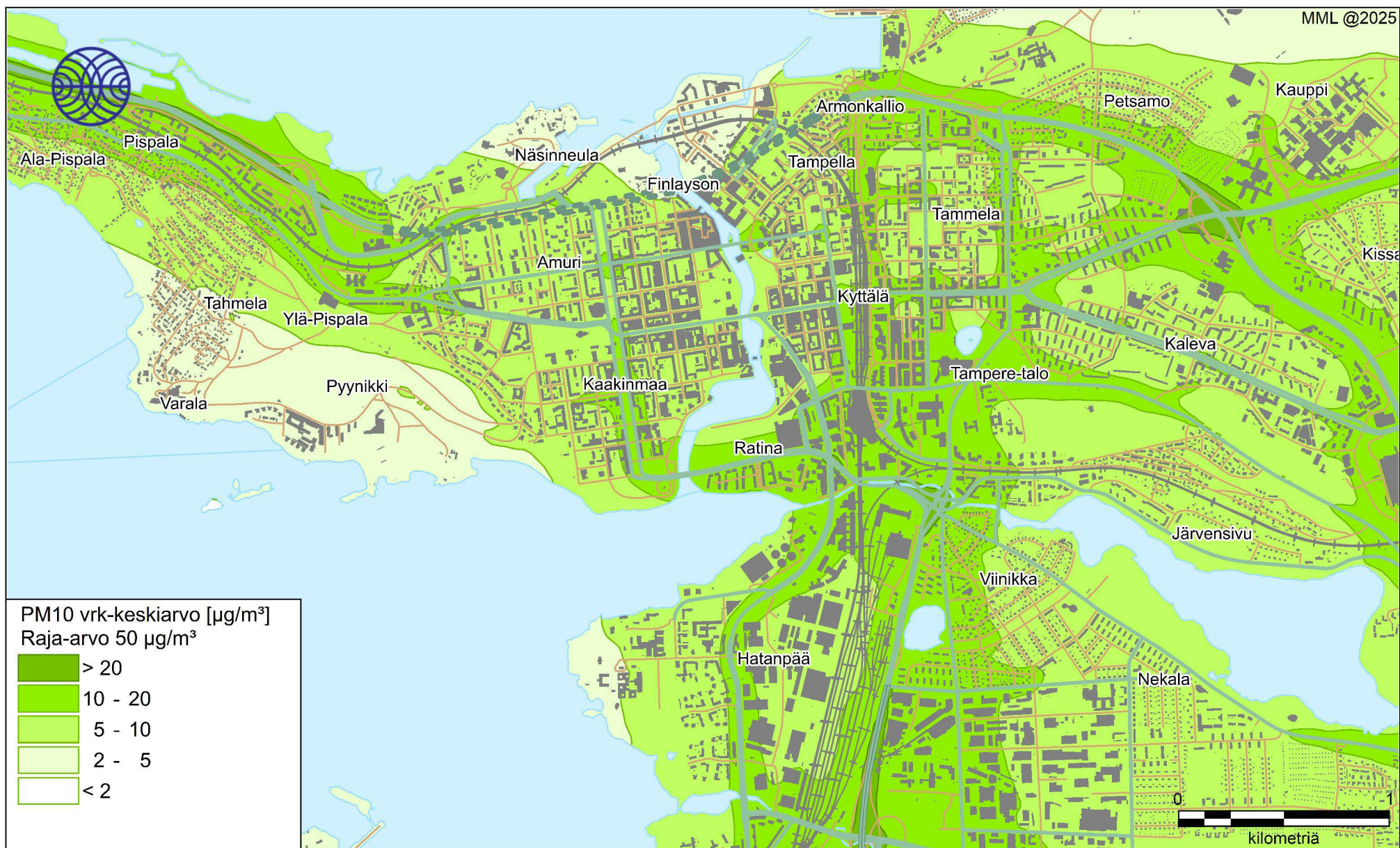
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 63. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



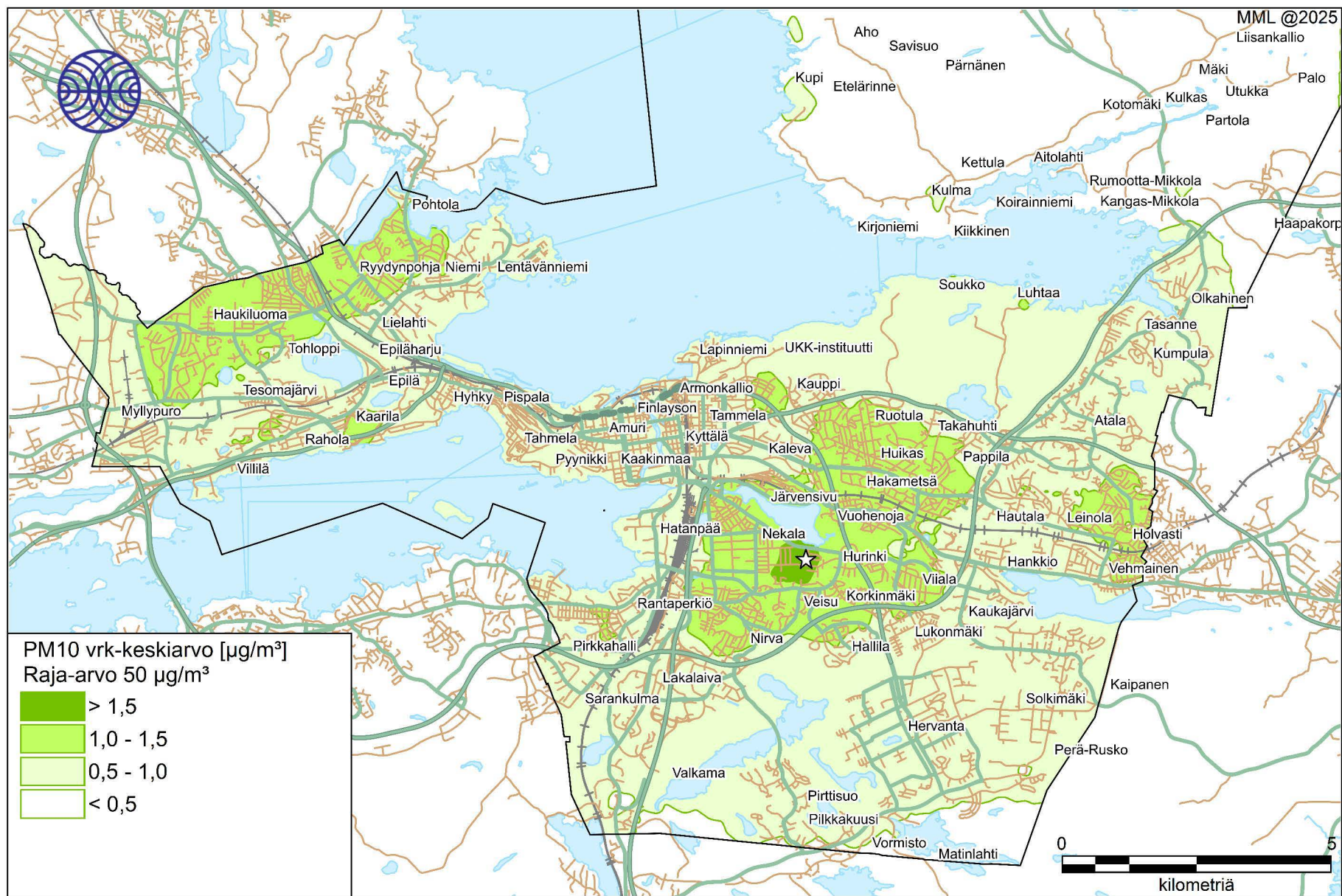
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 64. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



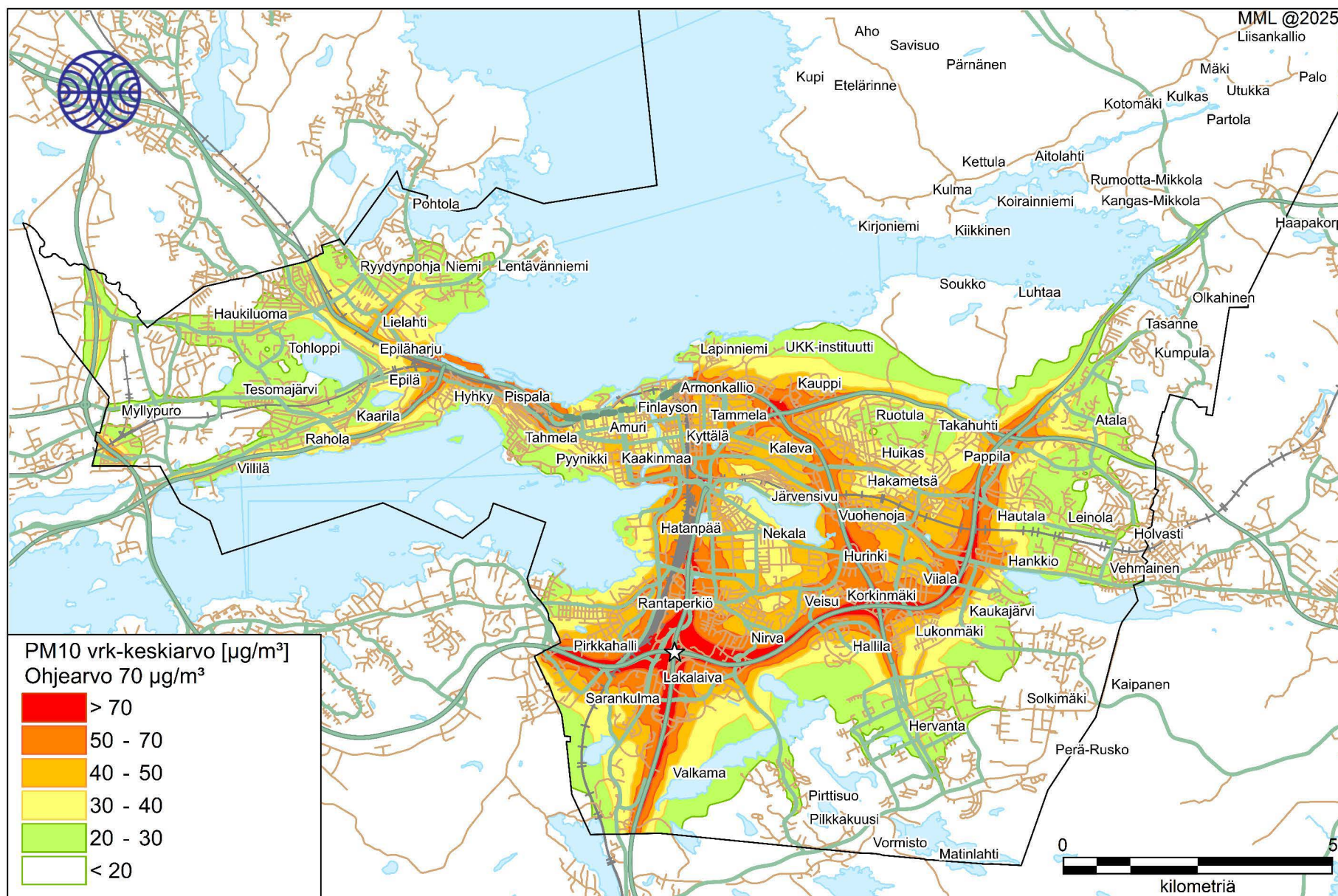
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 65. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



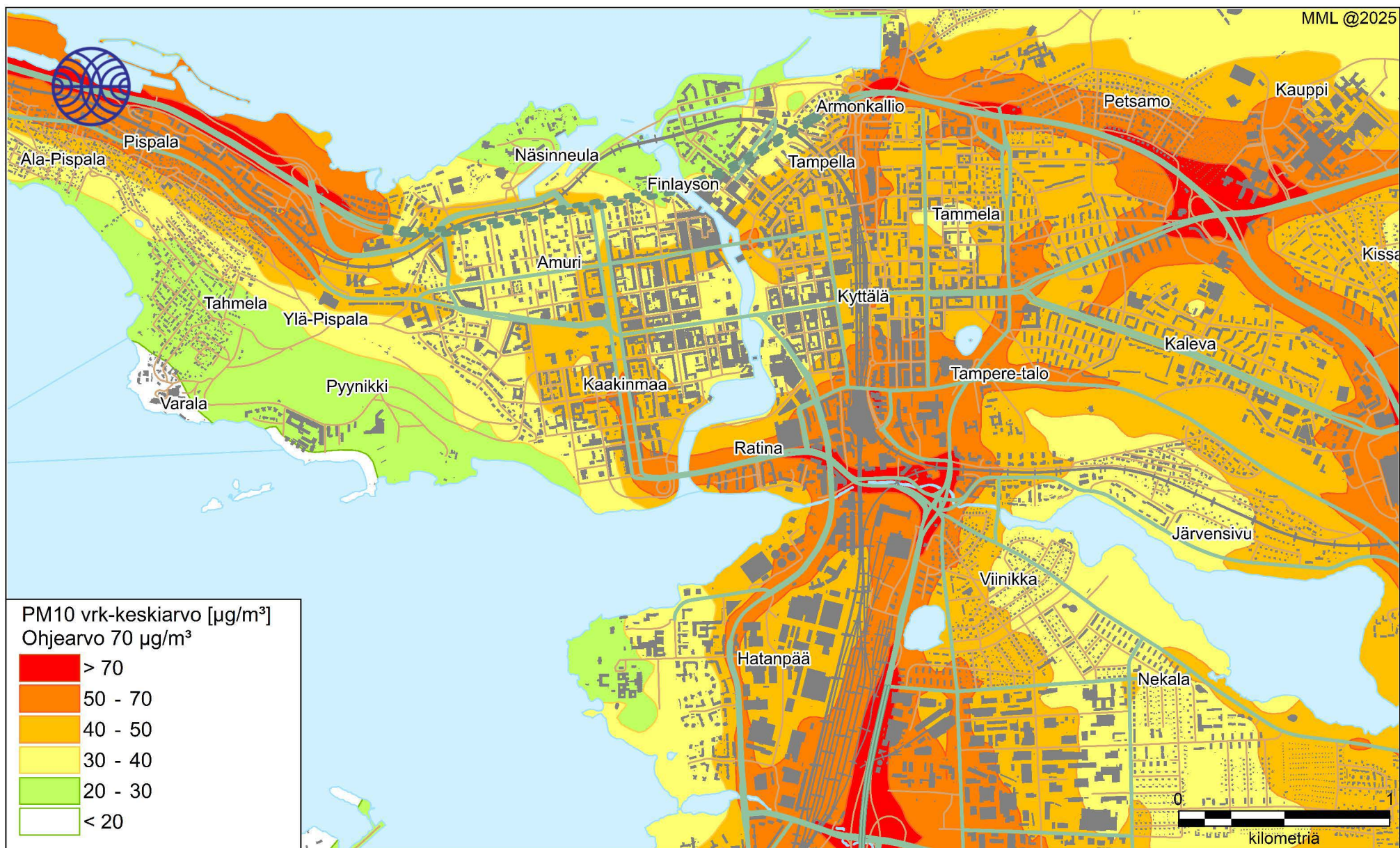
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 66. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



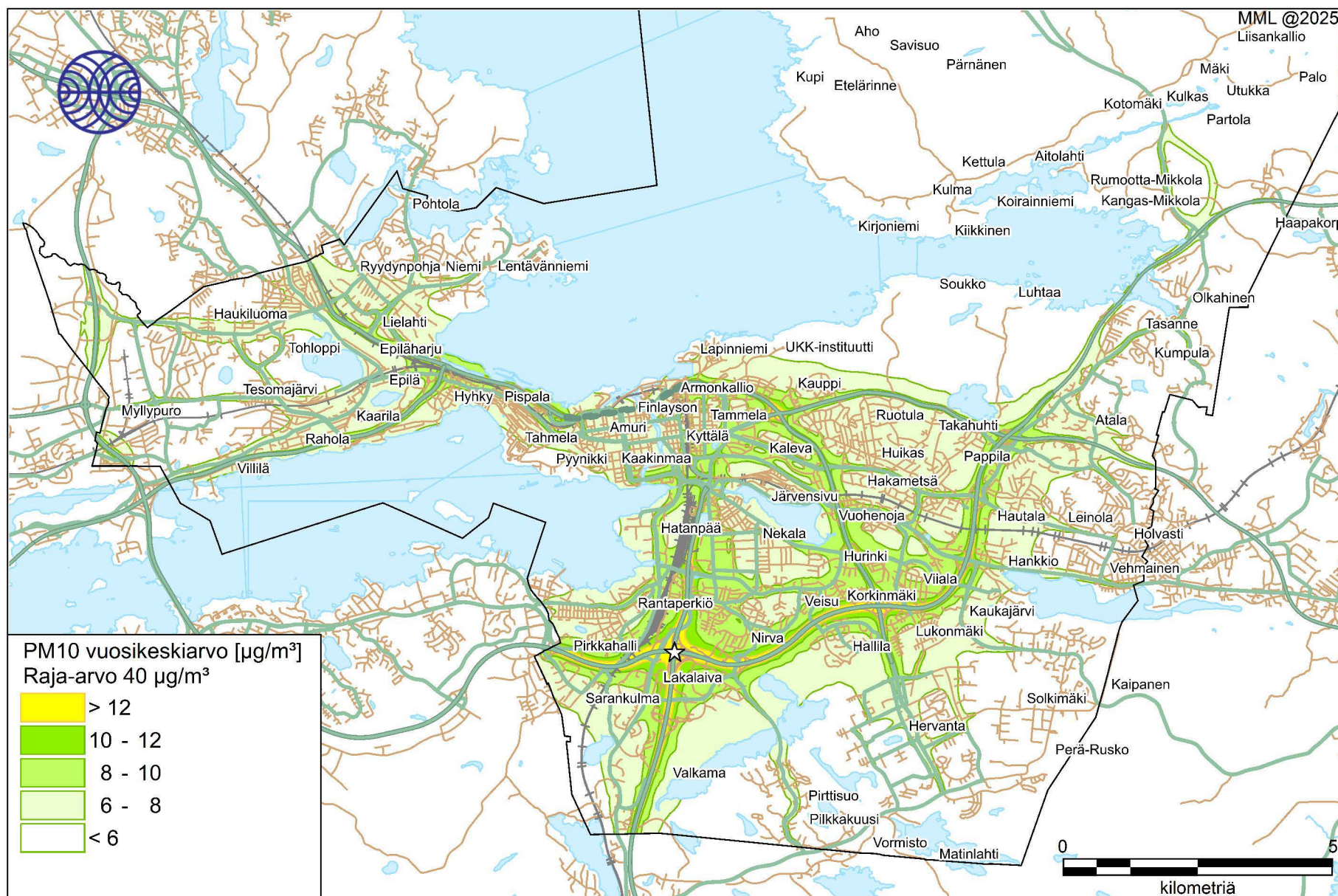
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 67. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

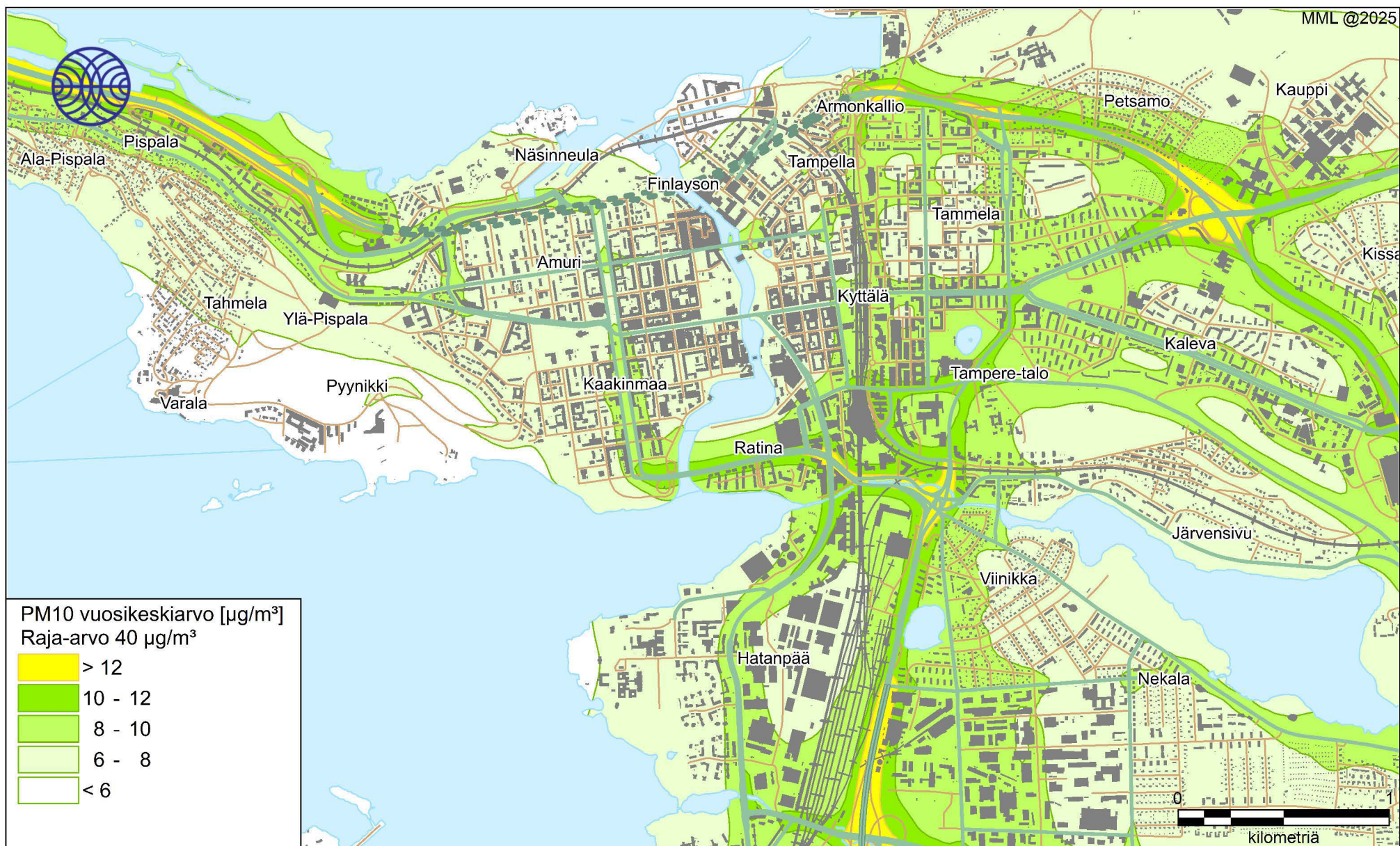
Kuva 68. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

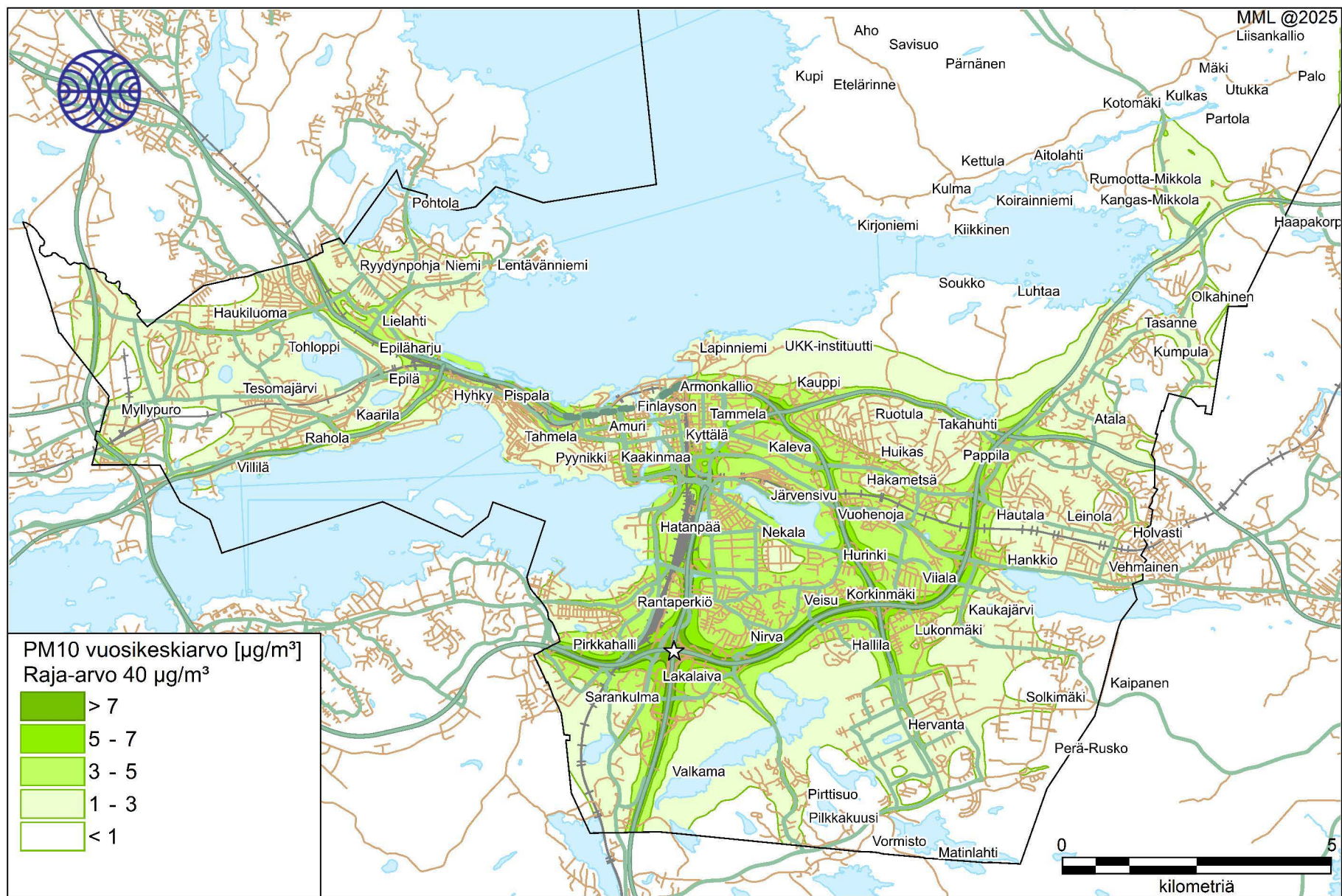
☆ = maksimi = $31,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 69. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040. Vuosiraja-arvo on $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2030 alkaen.



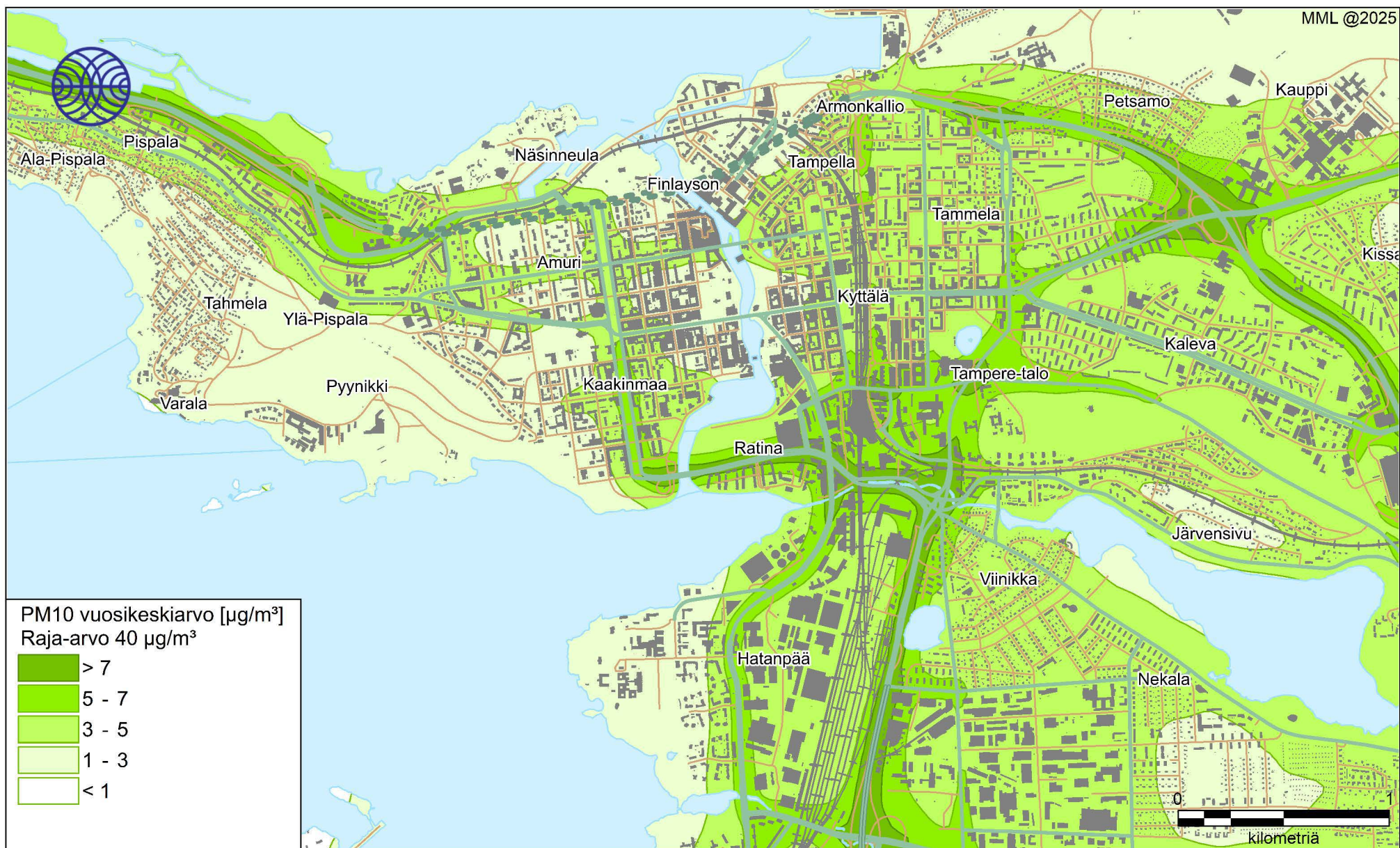
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 70. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040. Vuosiraja-arvo on 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuodesta 2030 alkaen.



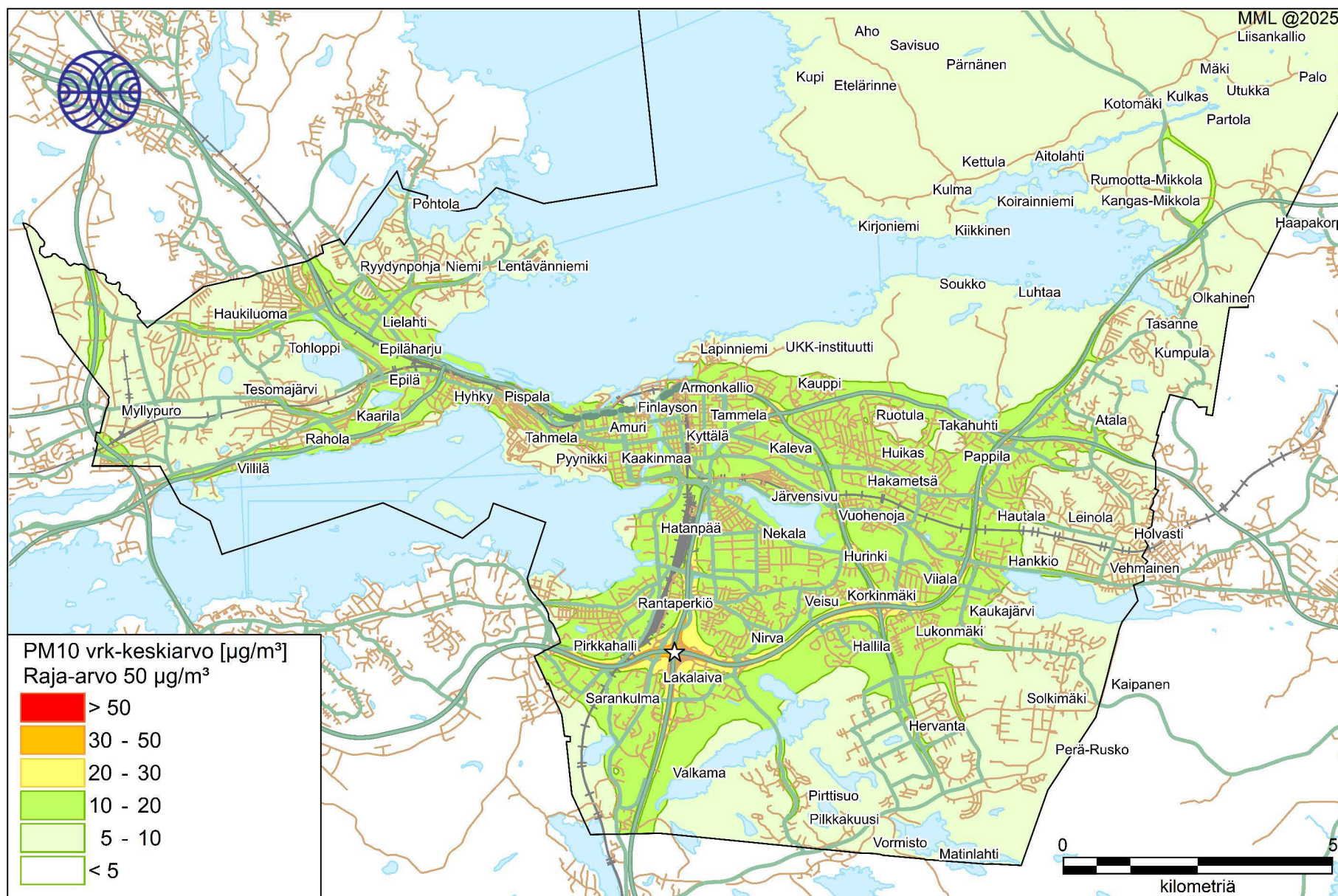
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 71. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

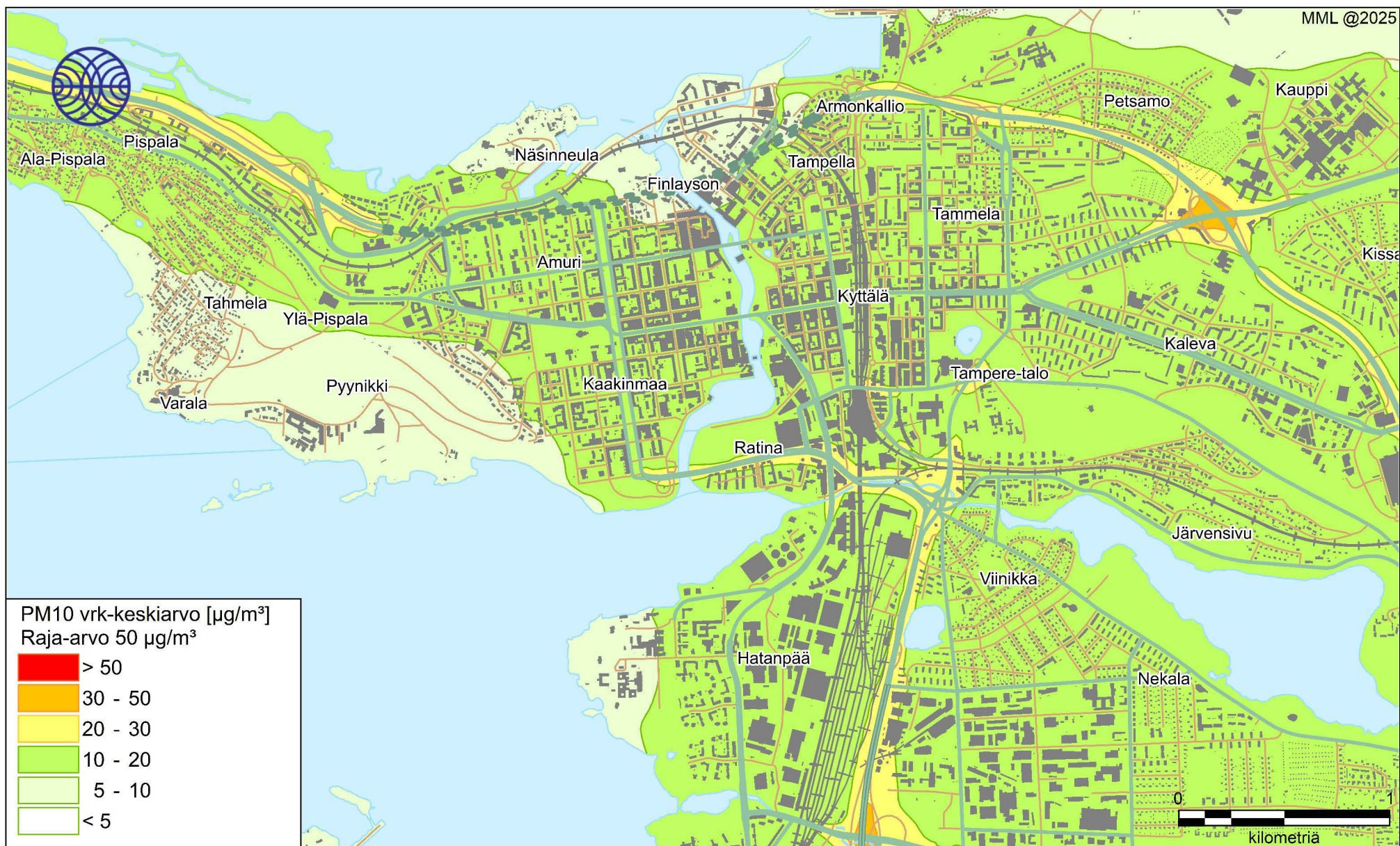
Kuva 72. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



Ilmatieteen laitos 2025

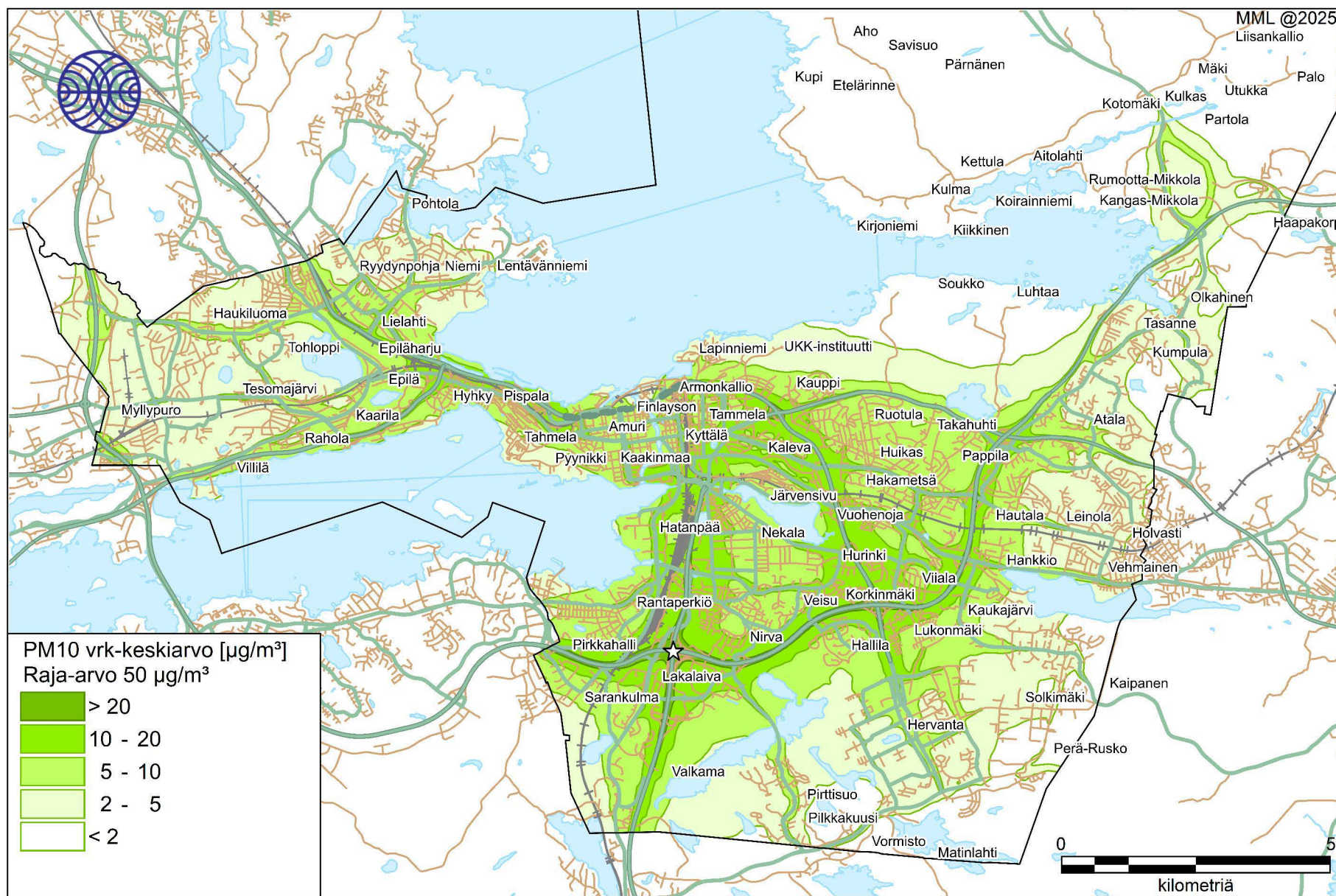
☆ = maksimi = $71,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Kuva 73. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



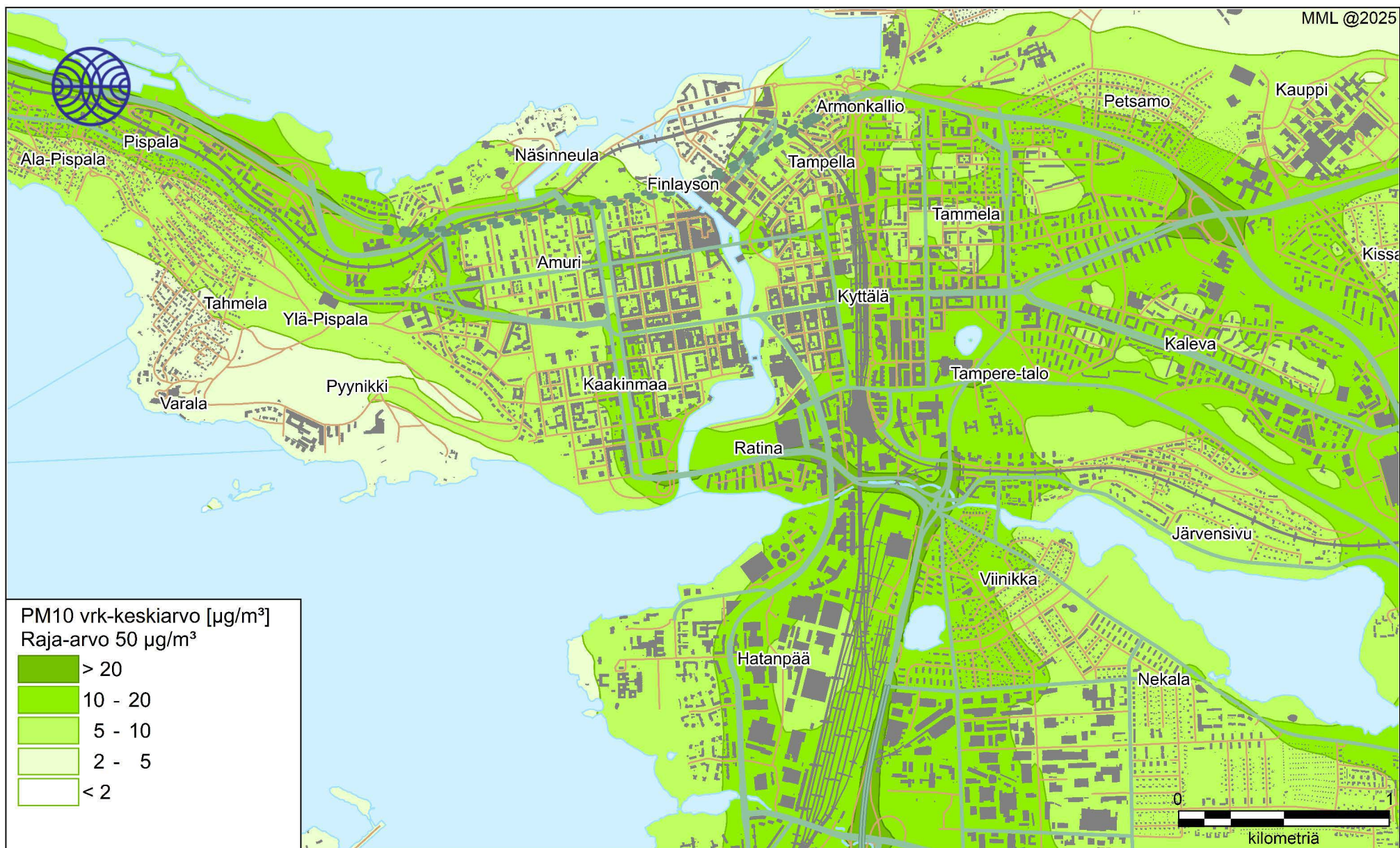
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 74. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



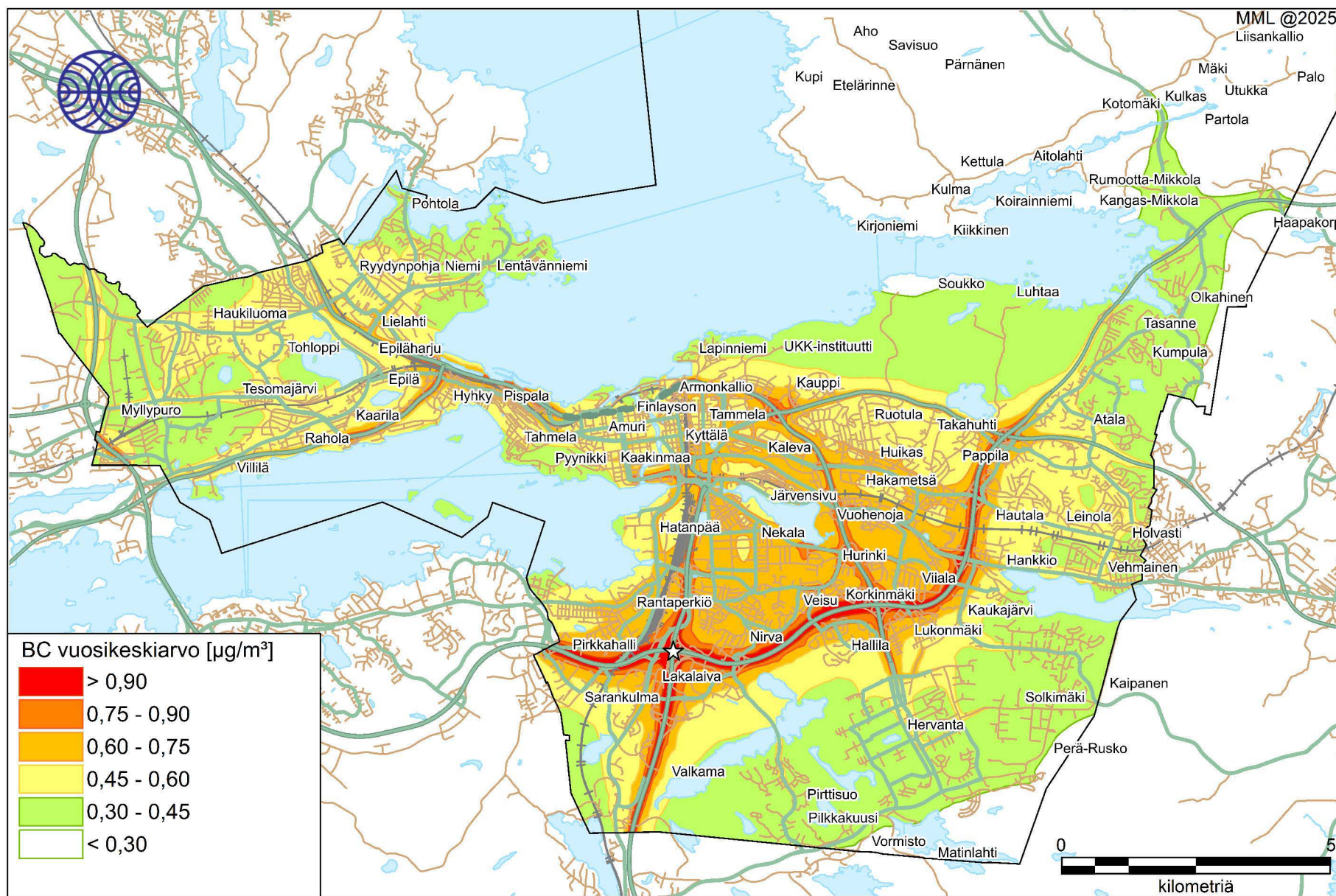
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 75. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



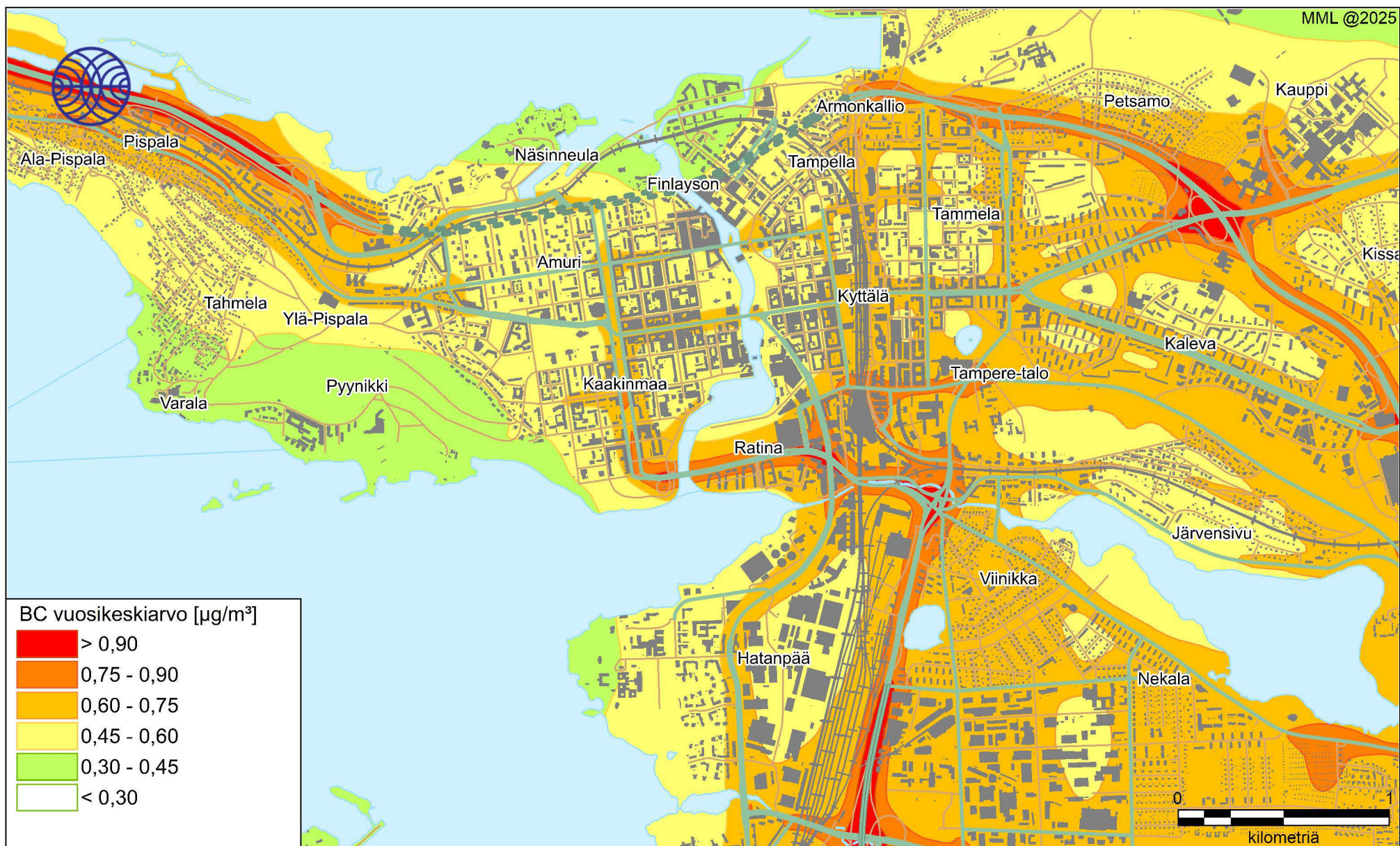
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 76. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



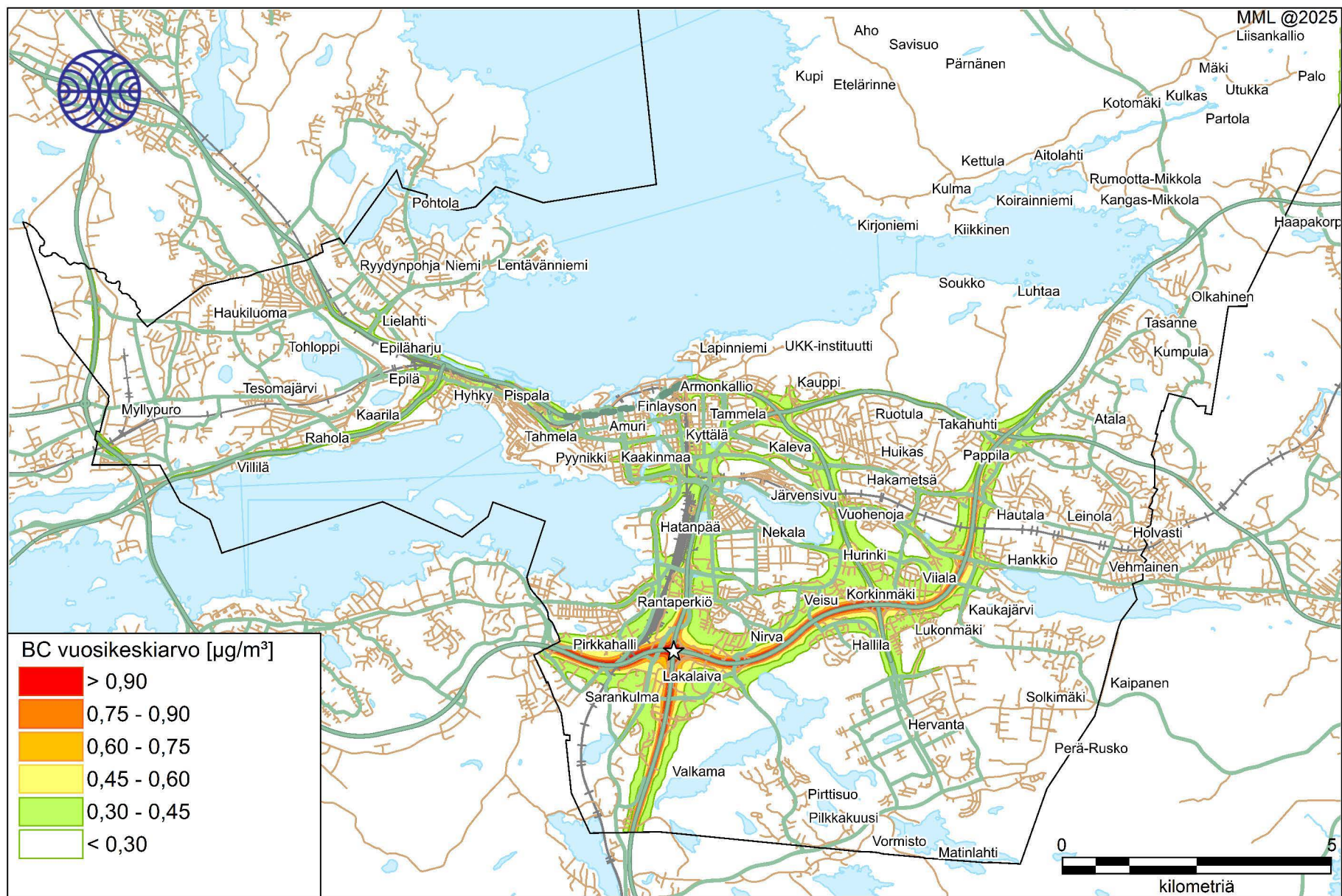
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 77. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



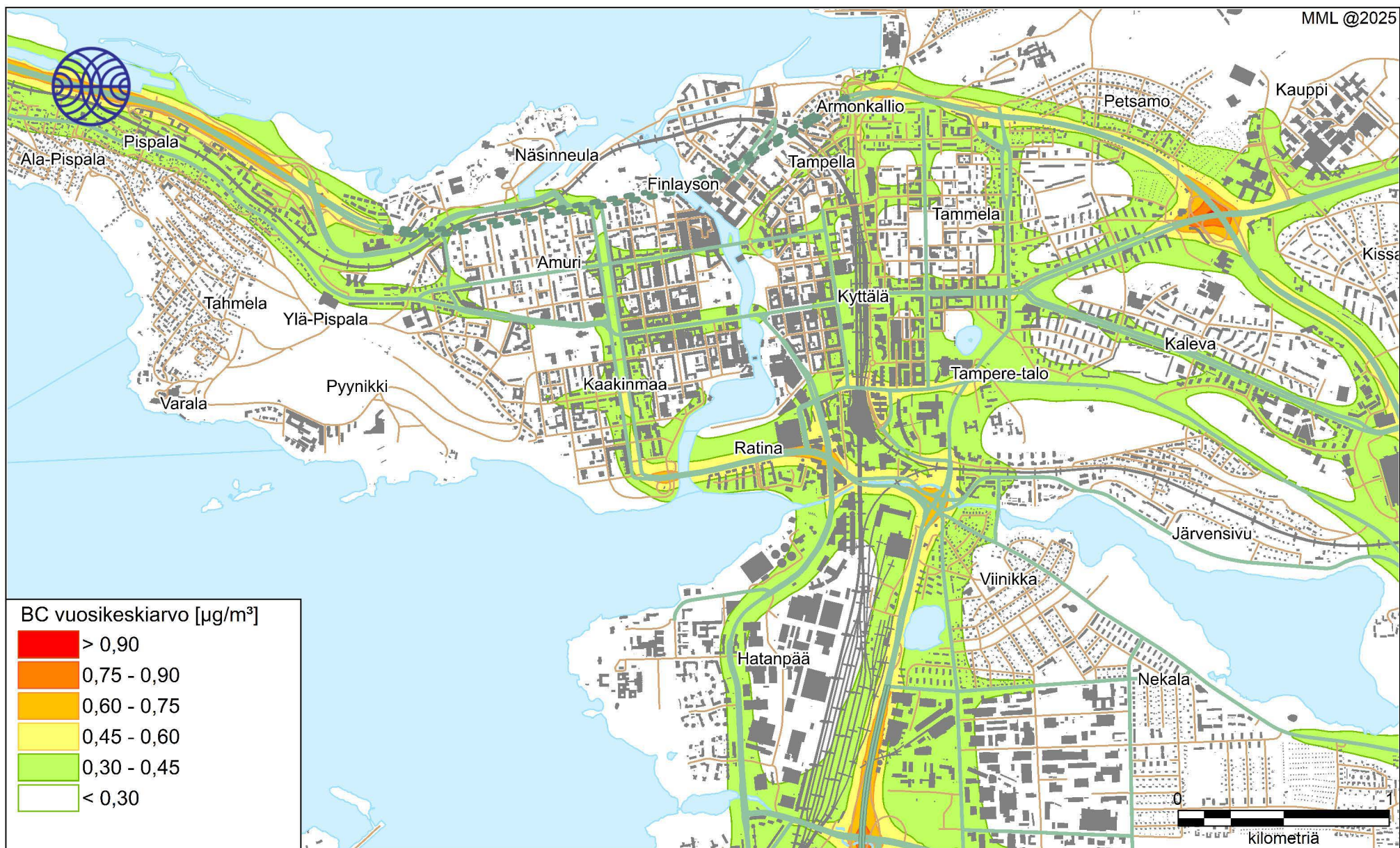
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 78. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



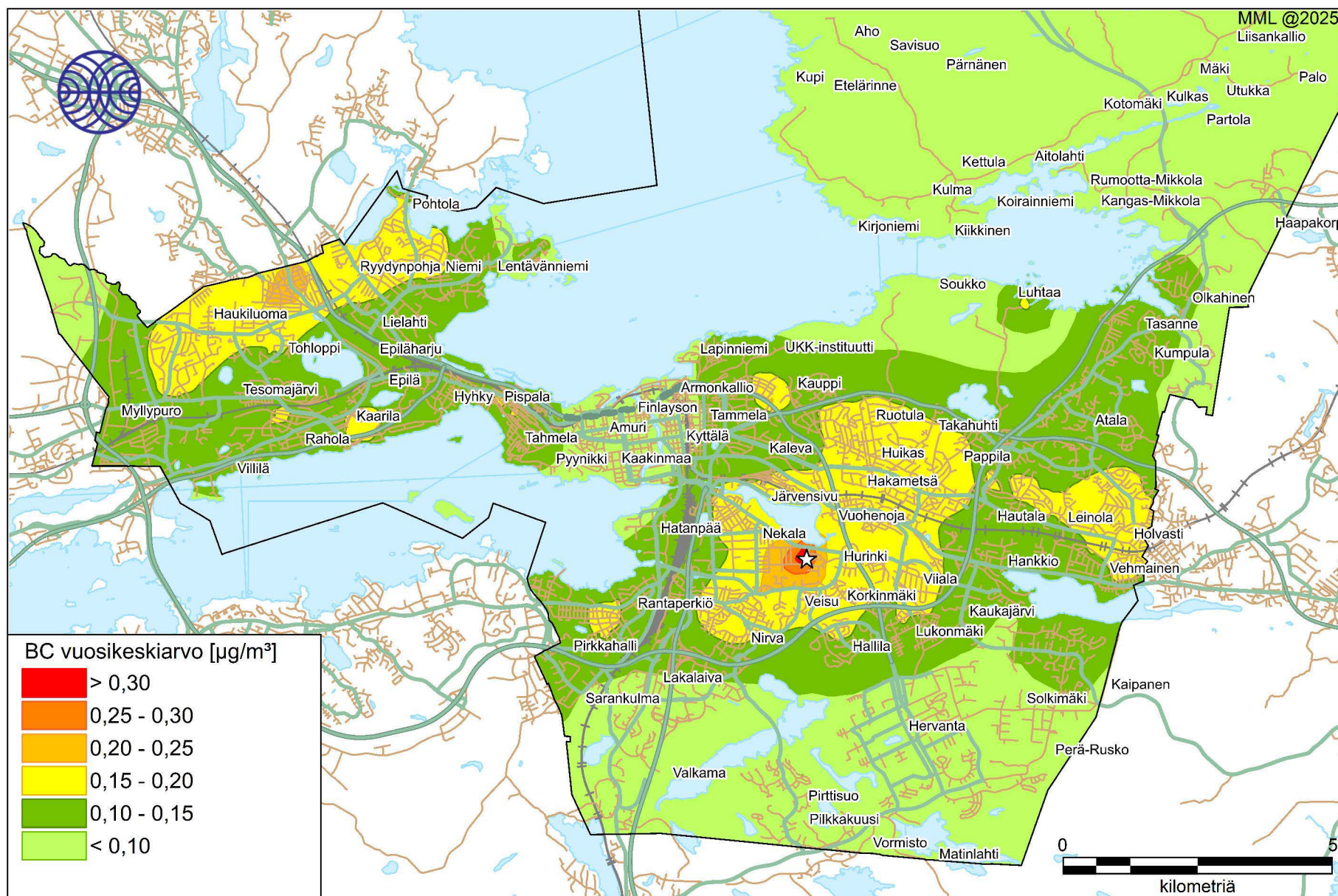
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 79. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



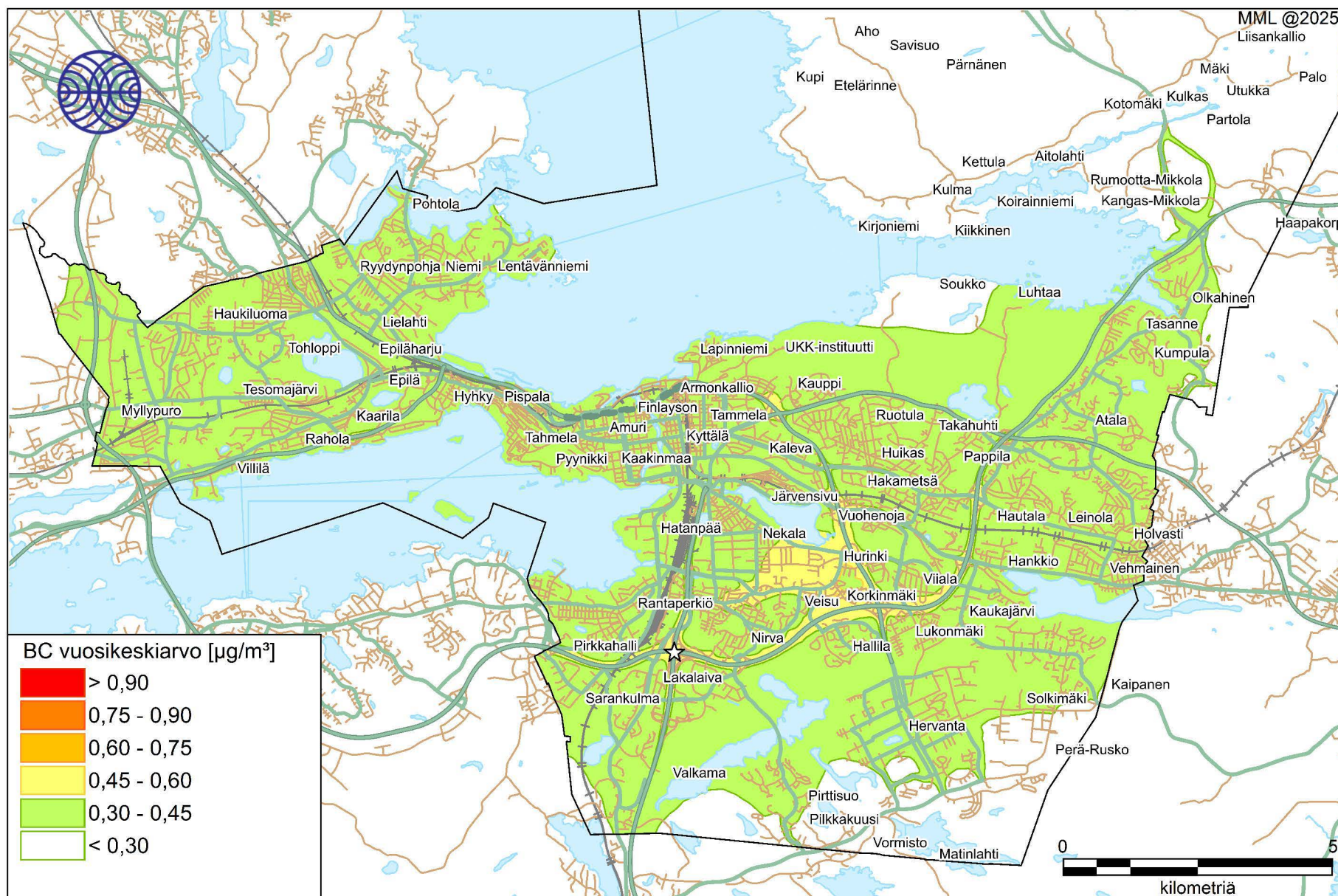
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 80. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



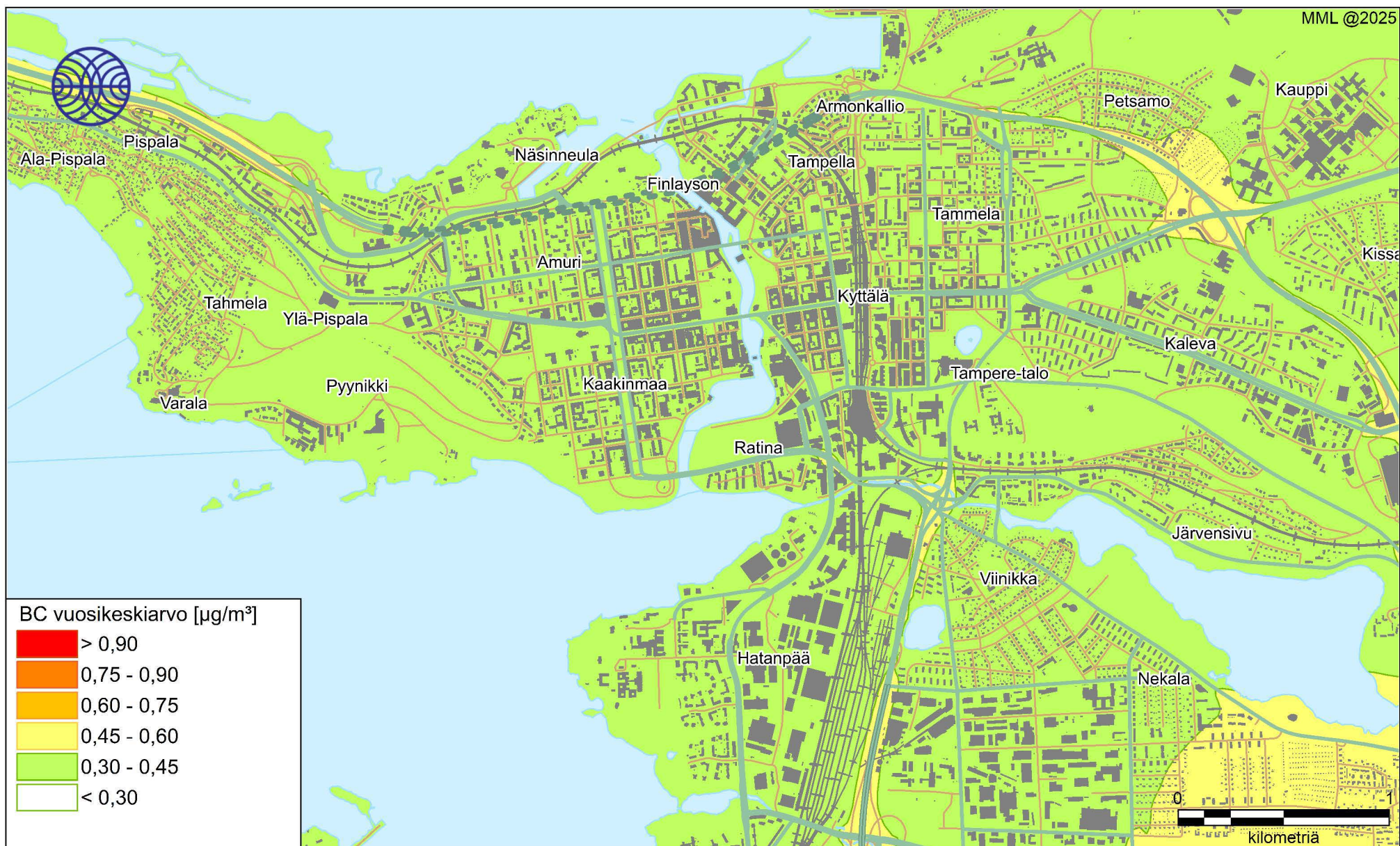
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 81. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykytilanteessa.



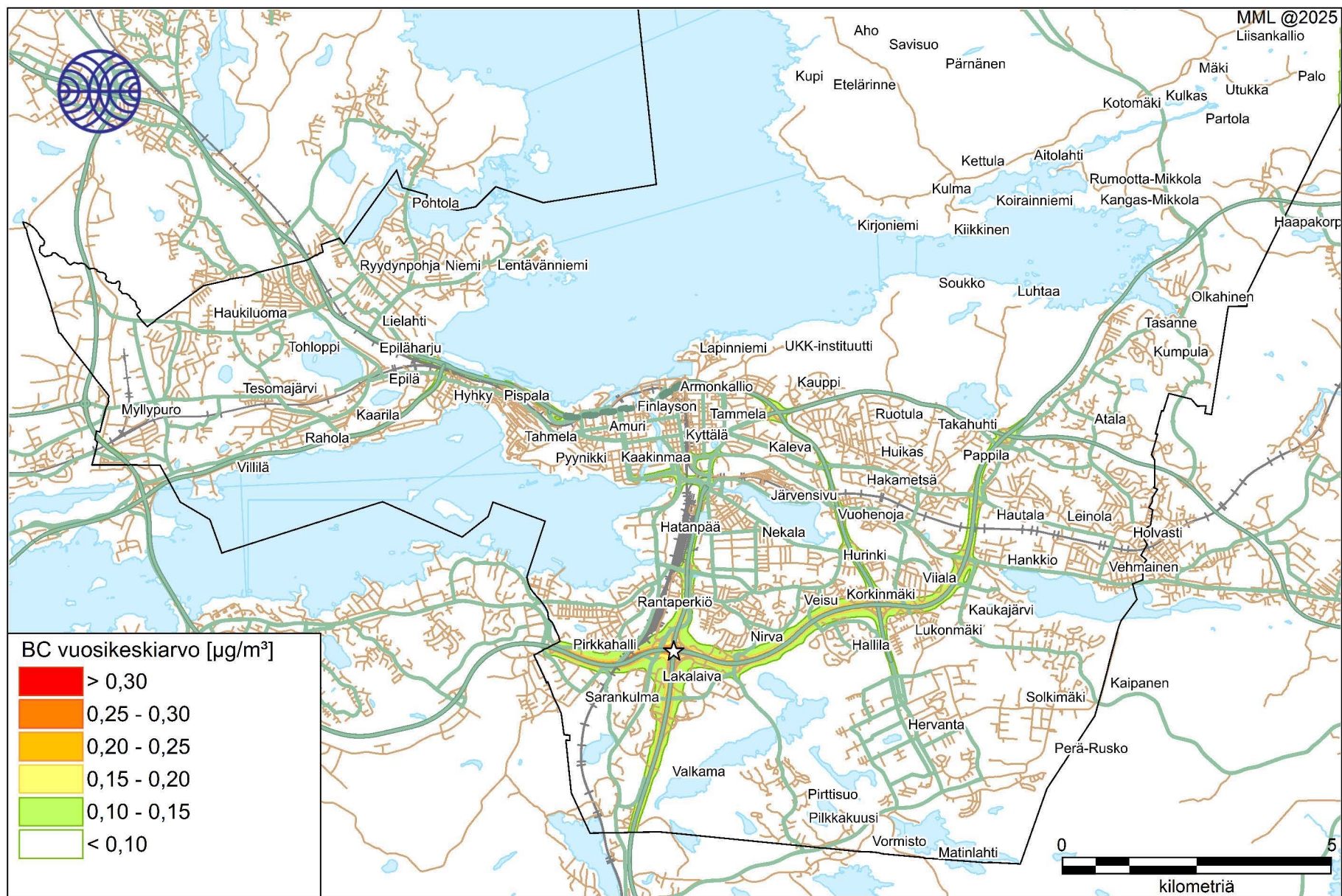
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 82. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



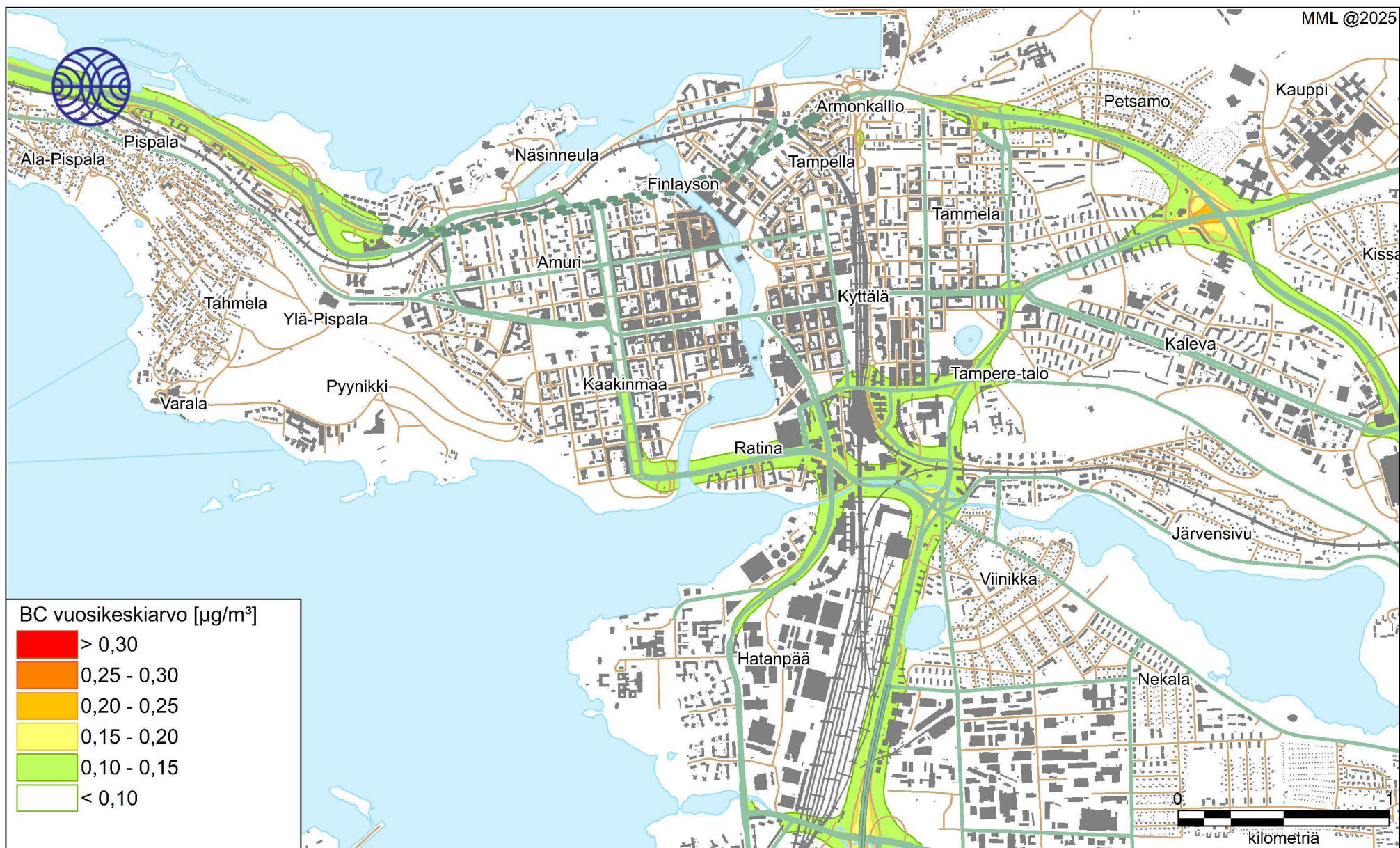
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 83. Kaikkien päästölähteiden ja taustapitoisuuden aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



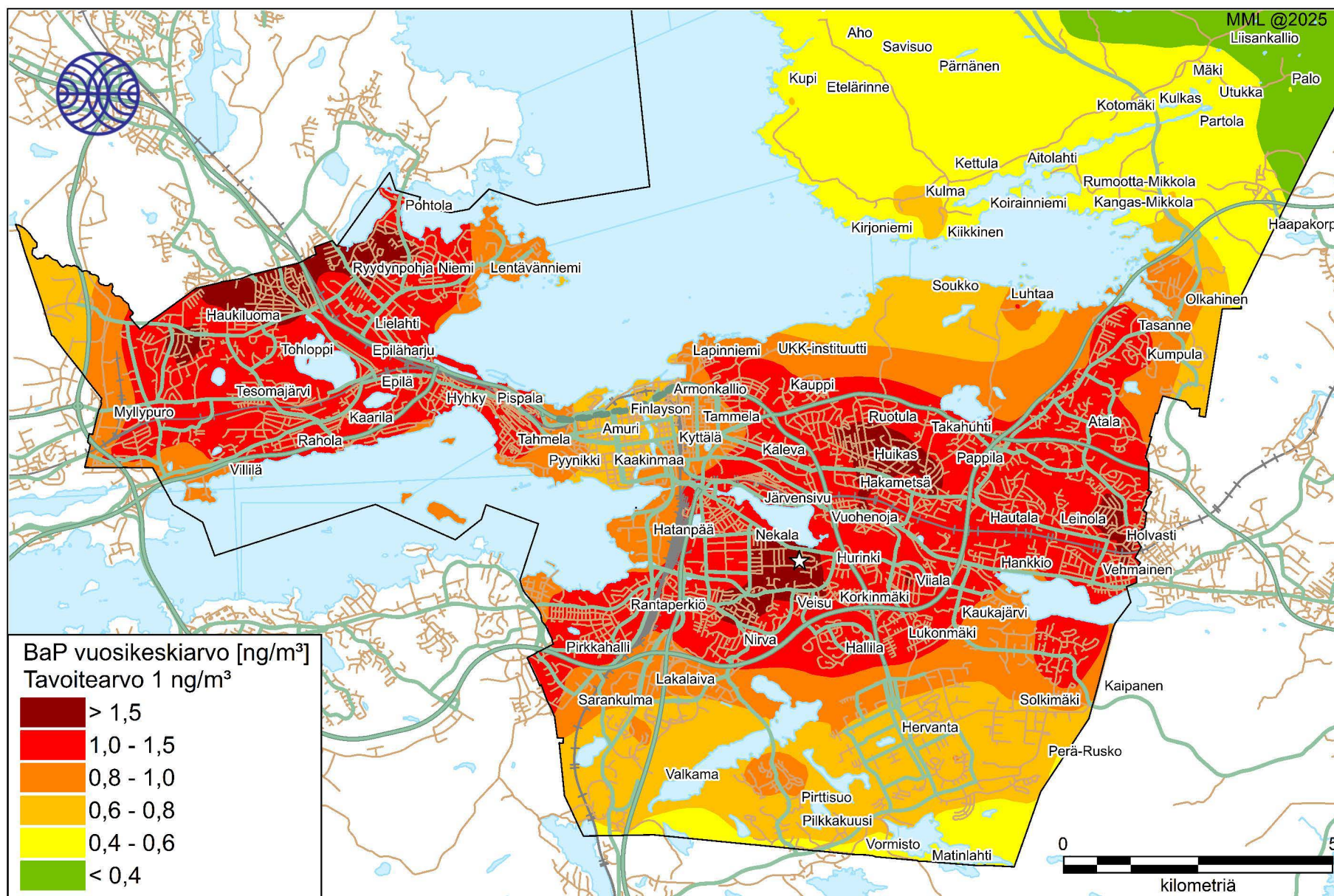
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 84. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



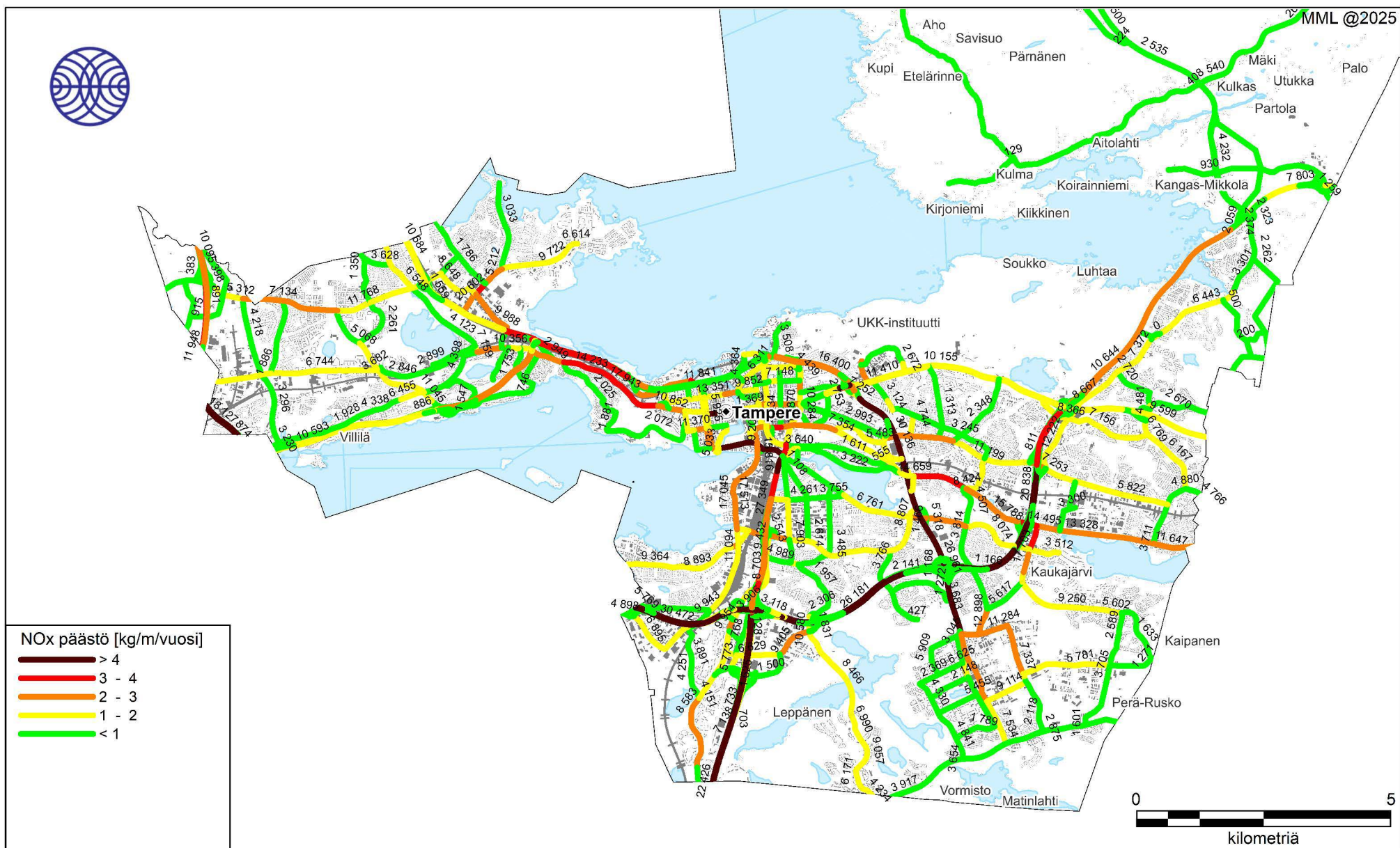
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 85. Autoliikenteen päästöjen aiheuttama mustan hiilen vuosikeskiarvopitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vuonna 2040.



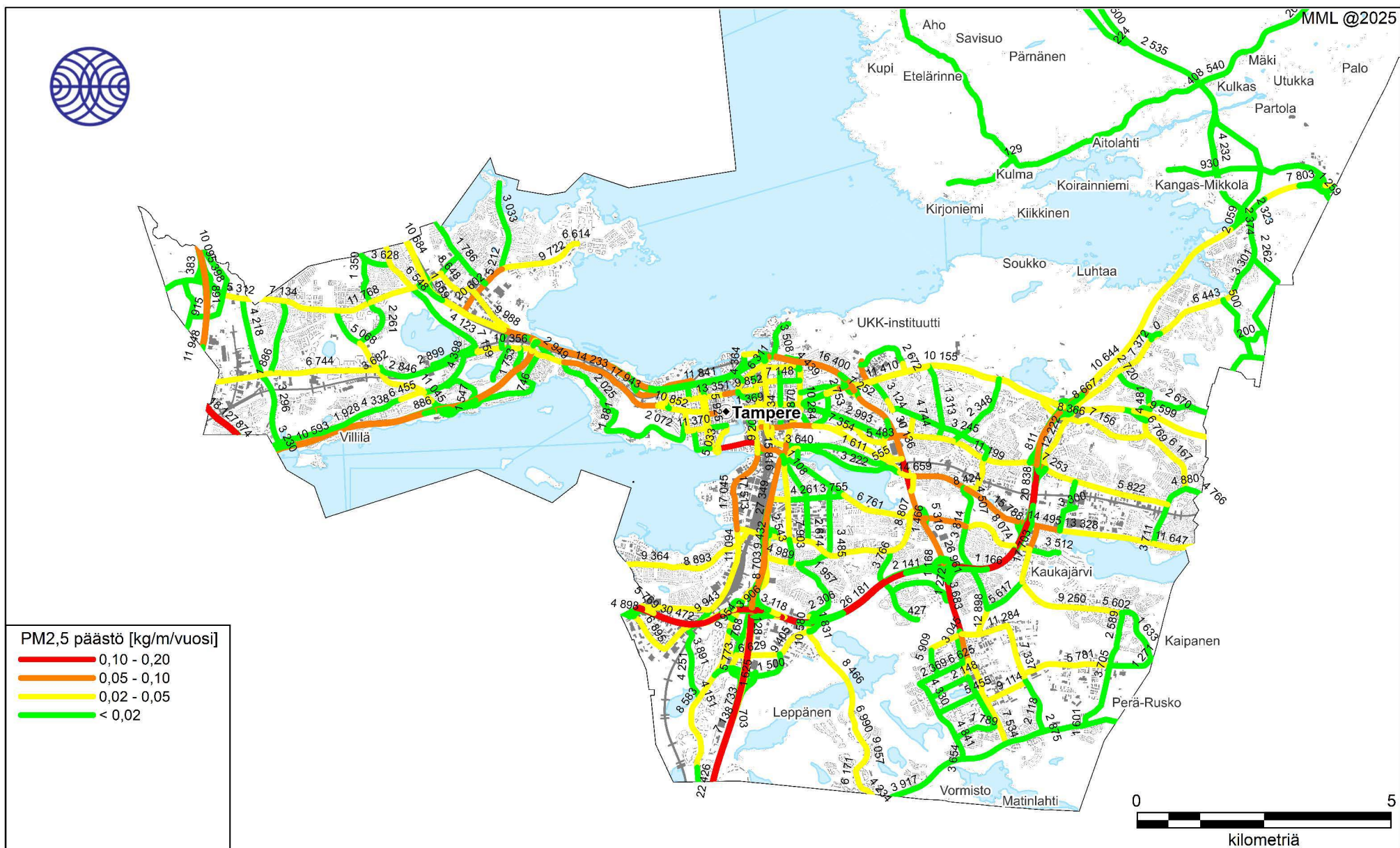
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 86. Kiinteistökohtaisen lämmityksen päästöjen aiheuttama bentso(a)pyreenin vuosikeskiarvopitoisuus (ng/m³) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 87. Autoliikenteen pakokaasujen typenoksidipäästöt (kg/m/voosi) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikenne nykytilanteessa (2021).



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 88. Autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt (kg/m/vuosi) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikenne nykytilanteessa (2021).



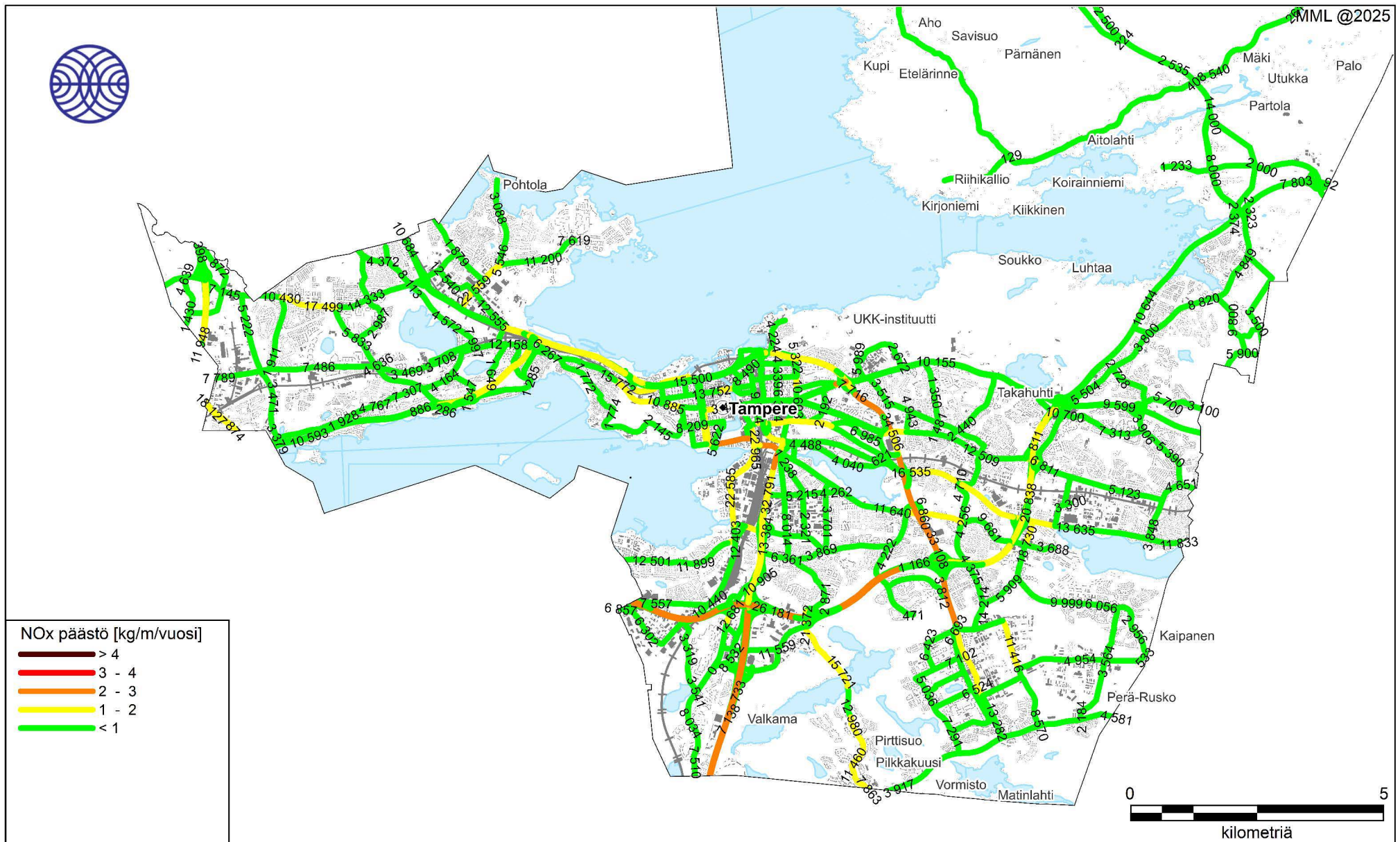
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 89. Autoliikenteen hengitettävien hiukkasten päästöt [kg/m/vuosi] nykytilanteessa (2021).



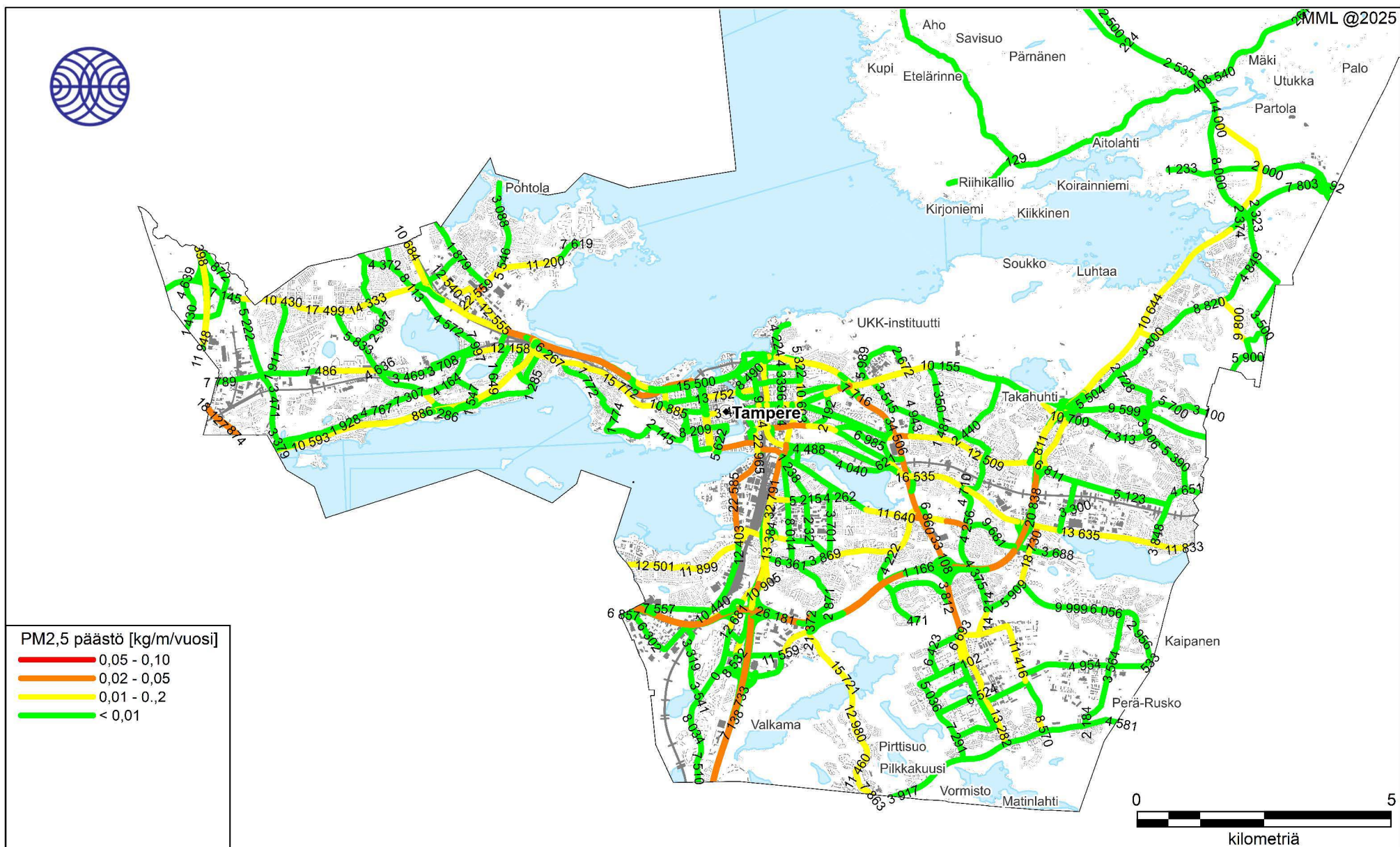
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 90. Autoliikenteen pakokaasujen mustan hiilen päästöt [kg/m/vuosi] ja keskimääräinen arkivuorokausiliikenne nykytilanteessa (2021).



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 91. Autoliikenteen pakokaasujen typenoksidipäästöt (kg/m/voosi) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikenne ennustetussa tilanteessa (2040).



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 92. Autoliikenteen pakokaasujen pienhiukkaspäästöt (kg/m/vuosi) ja keskimääräinen arkivuorokausiliikenne ennustetussa tilanteessa (2040).



Ilmatieteen laitos 2025

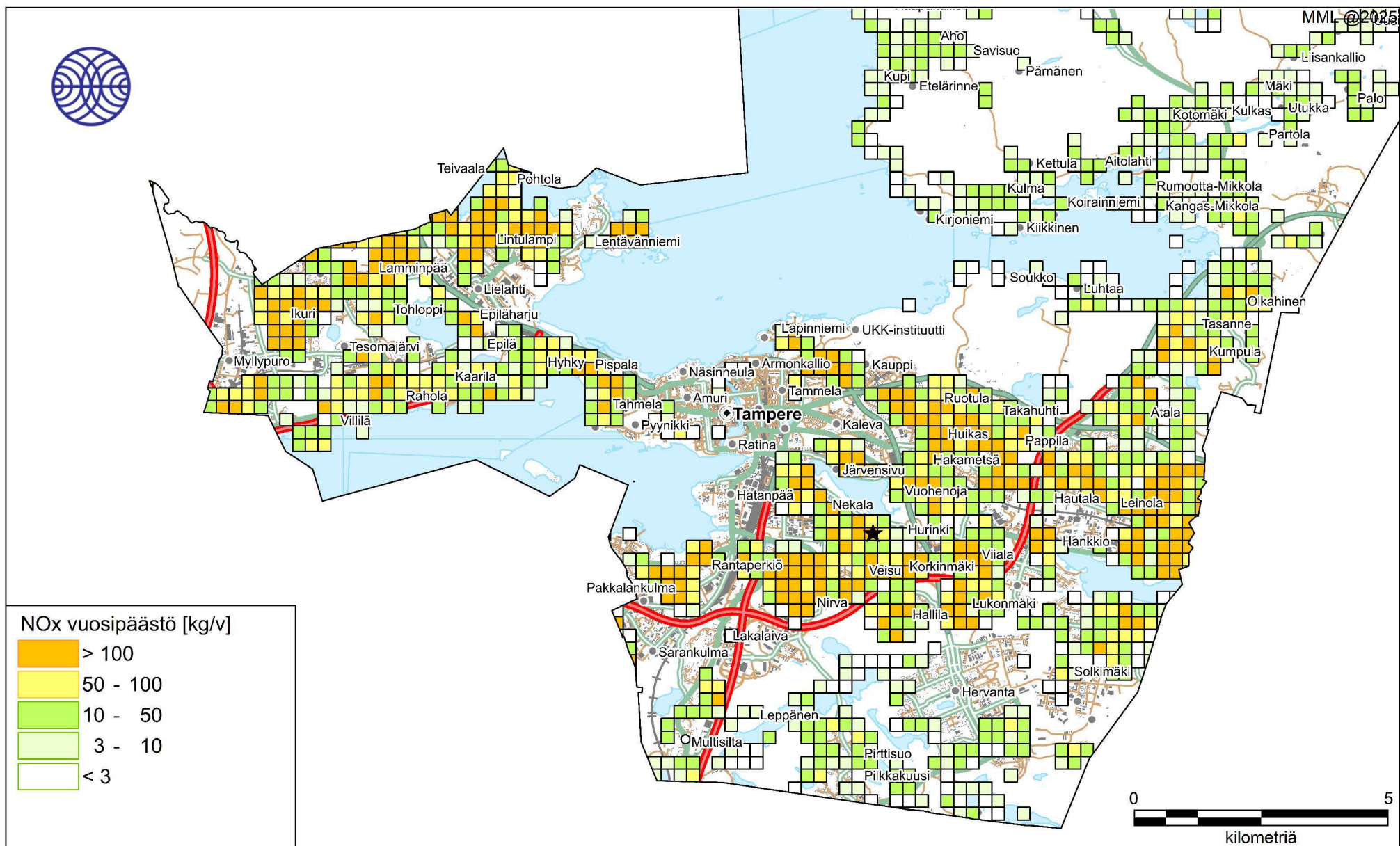
Kuva 93. Autoliikenteen hengitettävien hiukkasten päästöt [kg/m/voosi] ennustetussa tilanteessa (2040).

Liite 95 poistettu

Liite 96 poistettu

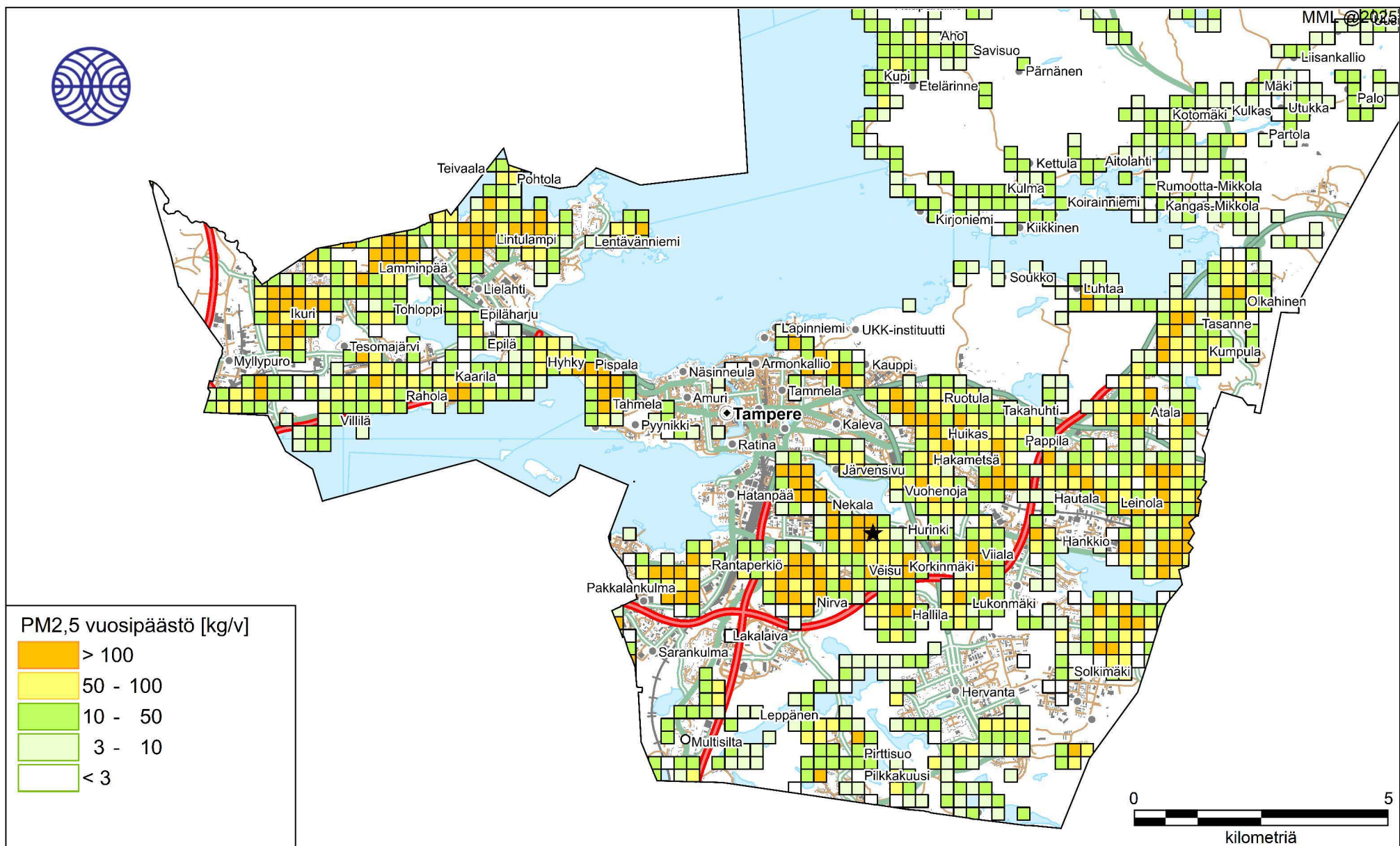
Liite 97 poistettu

Liite 98 poistettu



Ilmatieteen laitos 2025

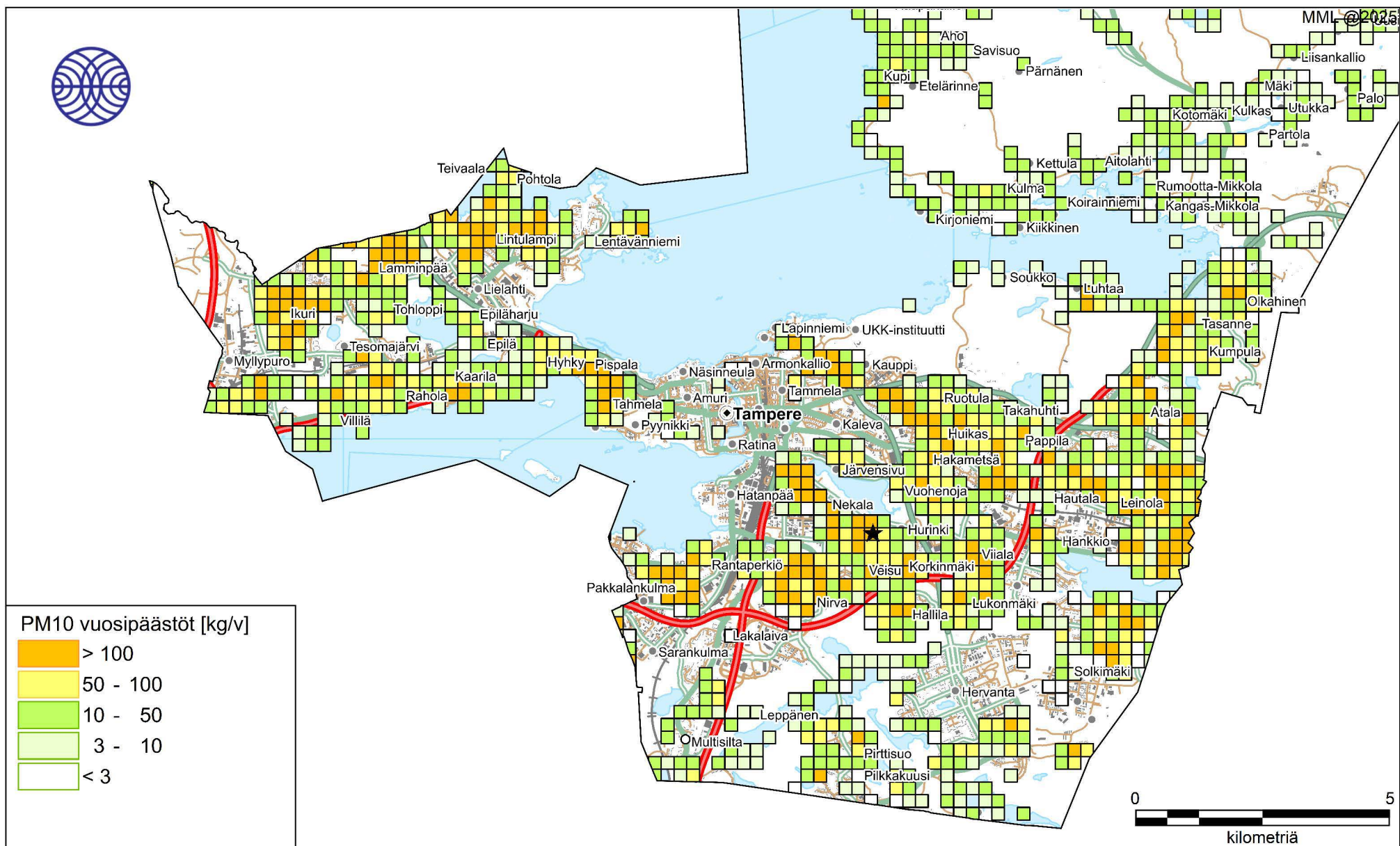
Kuva 99. Kiinteistökohtaisen lämmityksen typenoksidipäästöt (kg/vuosi) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

☆ = maksimi = 406 kg/v

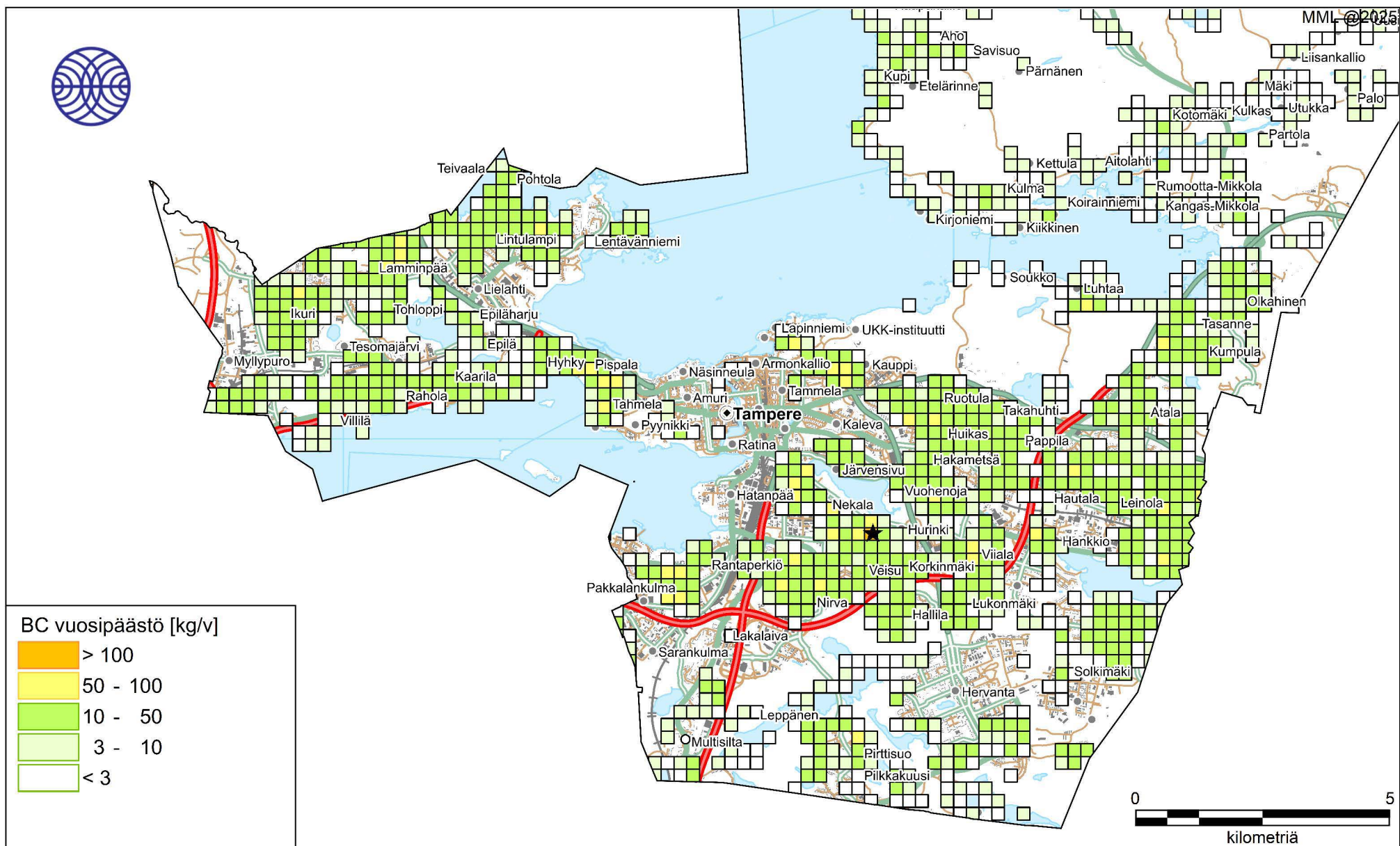
Kuva 100. Kiinteistökohtaisen lämmityksen pienhiukkaspäästöt (kg/vuosi) nykytilanteessa.



Ilmatieteen laitos 2025

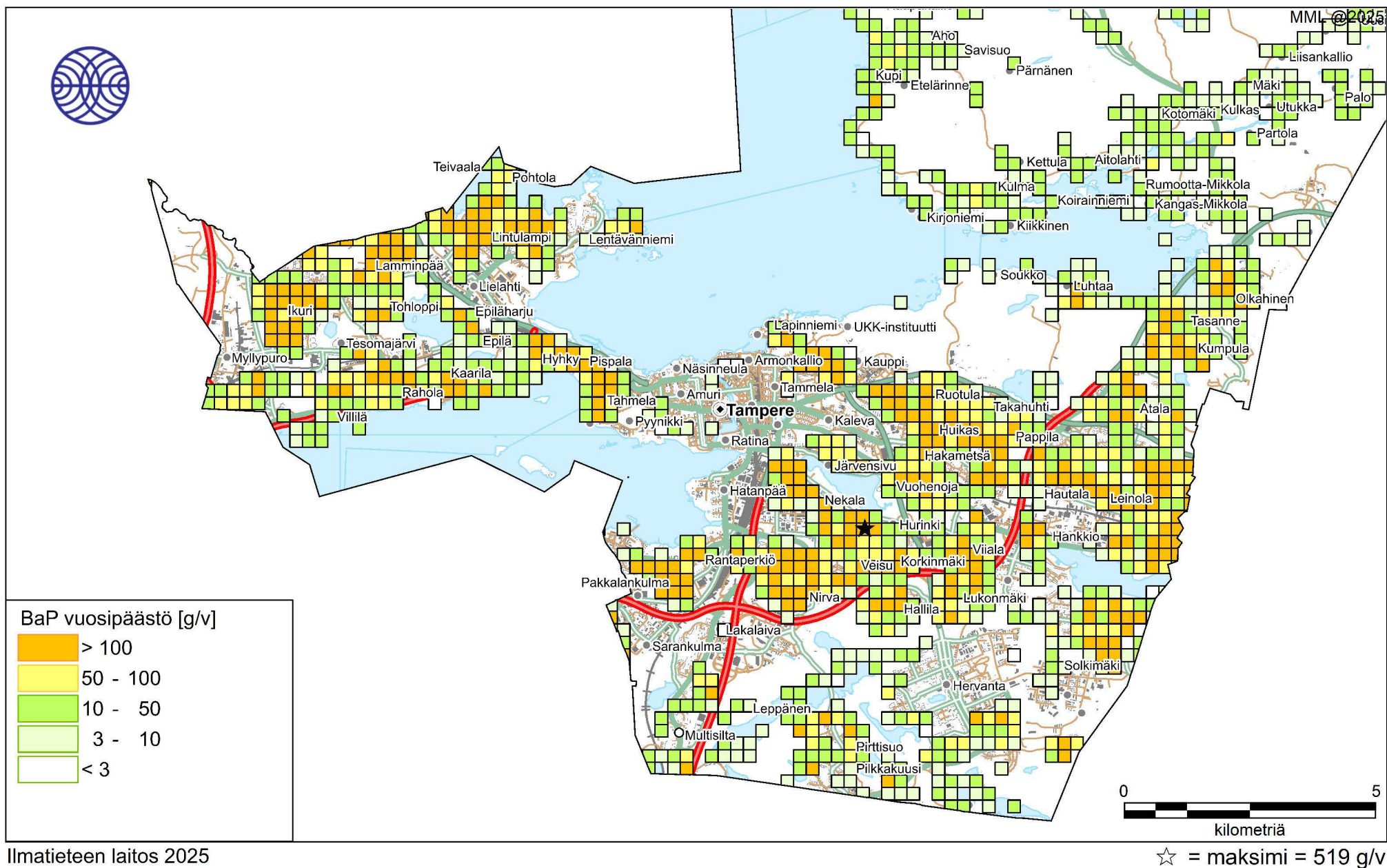
☆ = maksimi = 419 kg/v

Kuva 101. Kiinteistökohtaisen lämmityksen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/vuosi) nykytilanteessa.

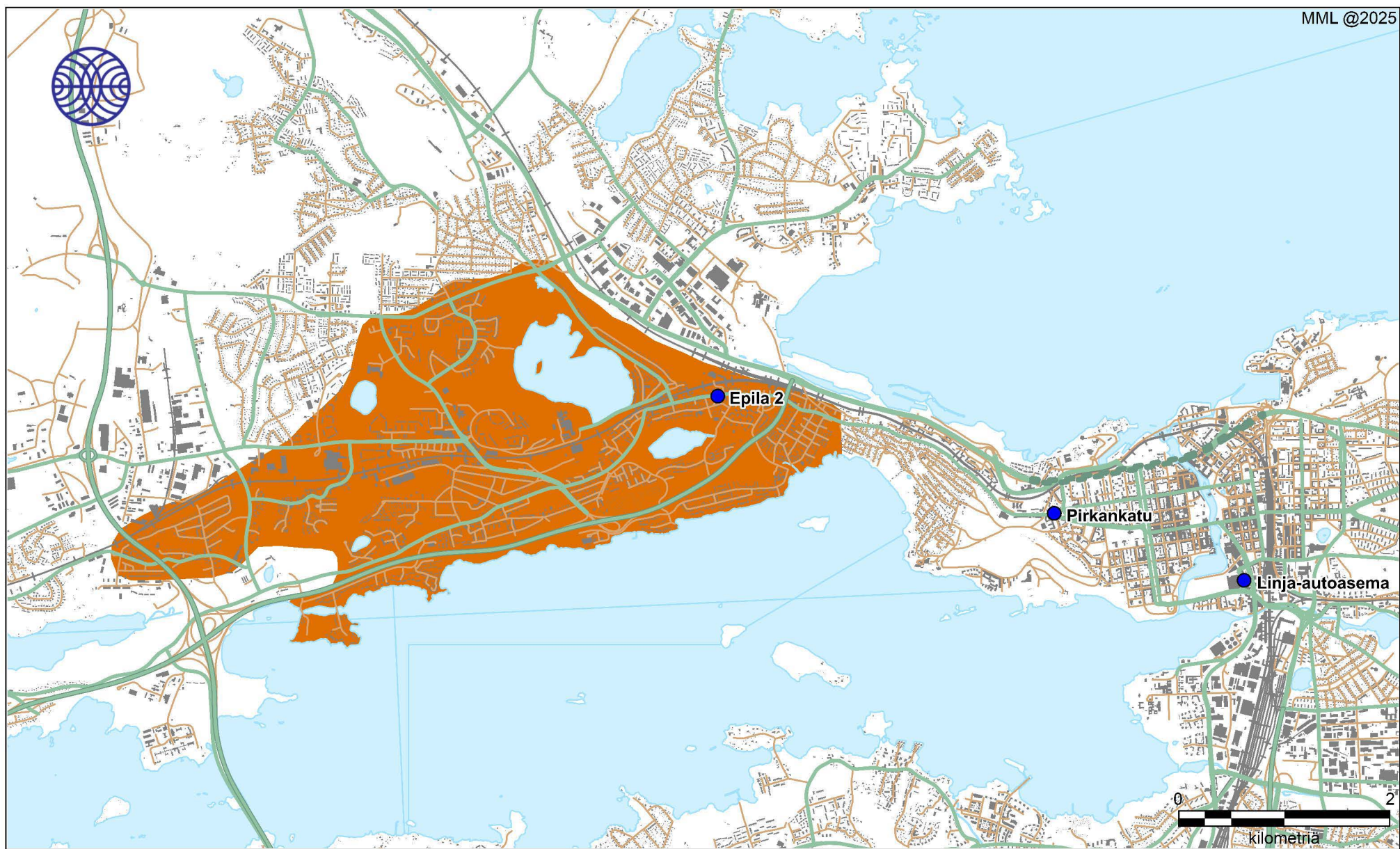


Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 102. Kiinteistökohtaisen lämmityksen mustan hiilen päästöt (kg/vuosi) nykytilanteessa.

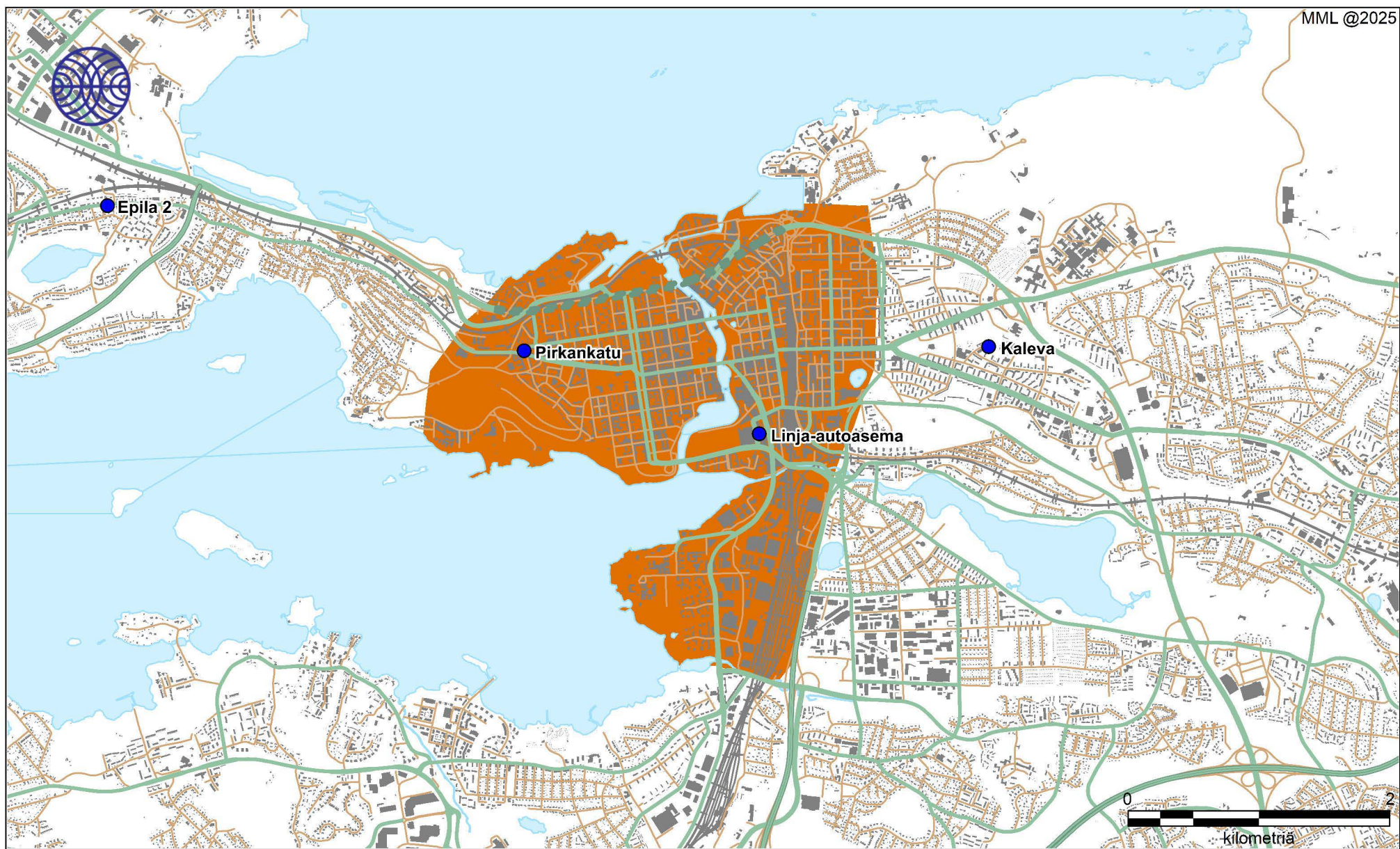


Kuva 103. Kiinteistökohtaisen lämmityksen bentso(a)pyreenipäästöt (g/vuosi) nykytilanteessa.



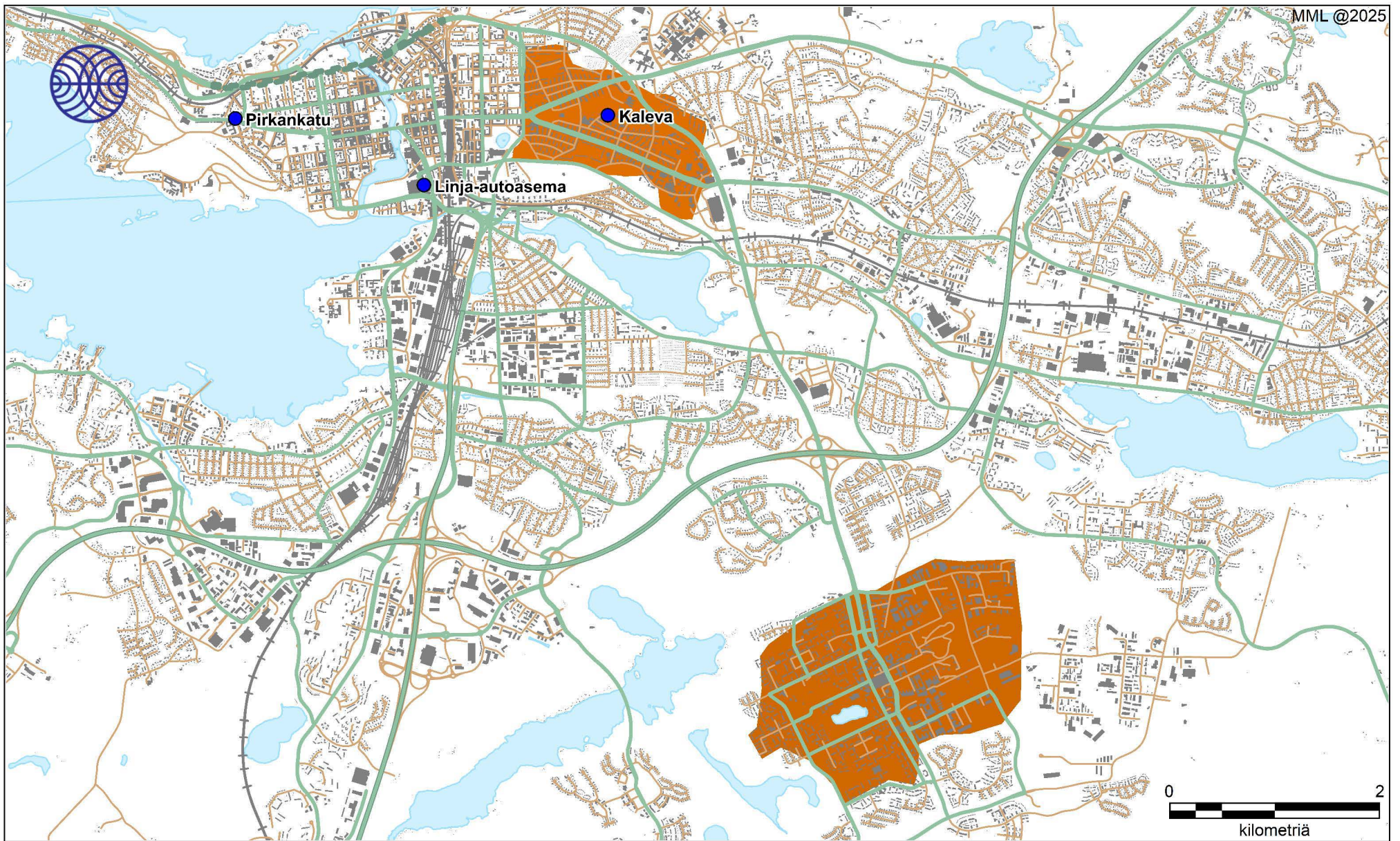
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 104. Epilän ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue pienhiukkasten suhteen.



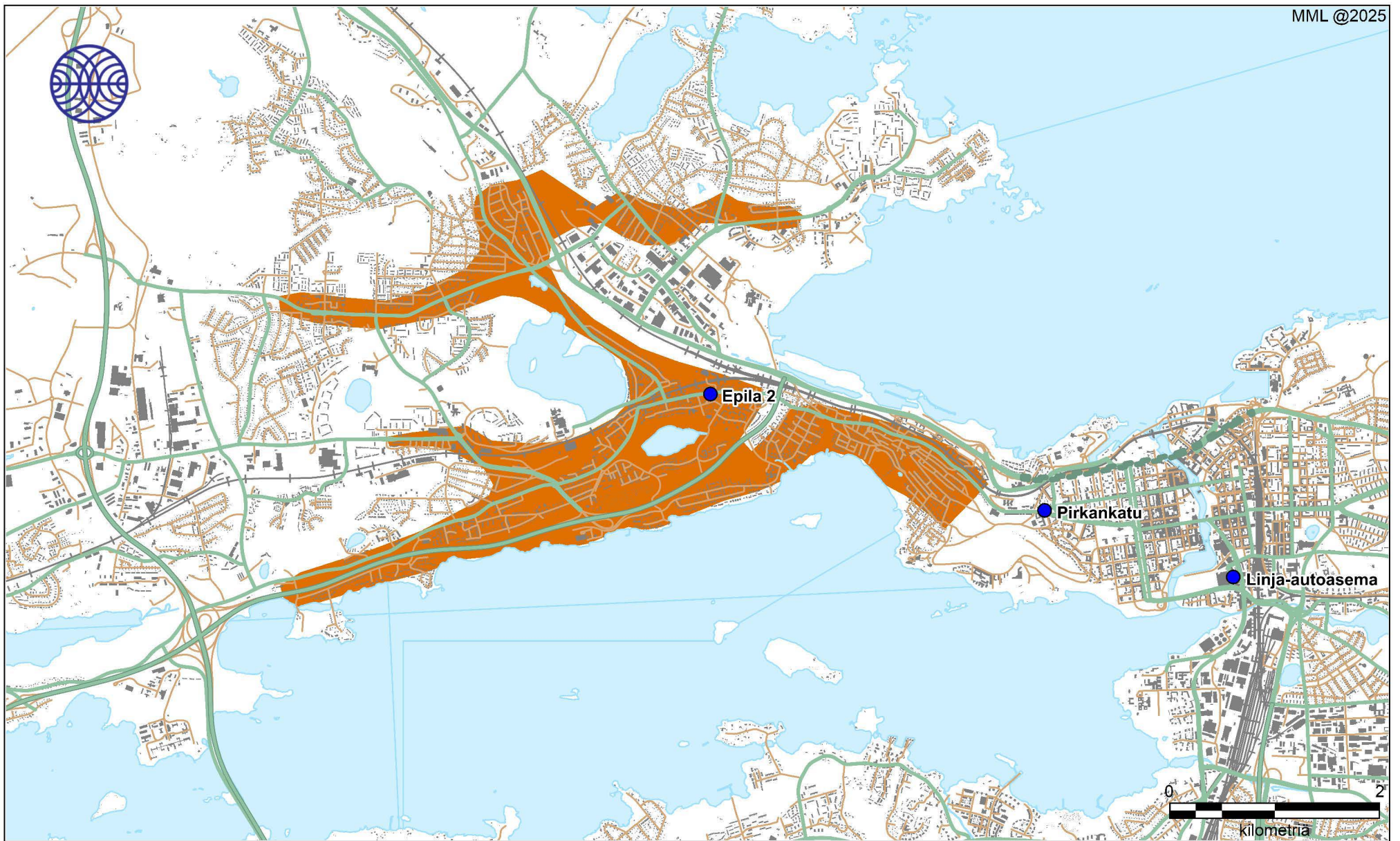
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 105. Pirkankadun ja Linja-autoaseman ilmanlaadun mittausasemien yhteinen edustavuusalue pienhiukkasten suhteen.



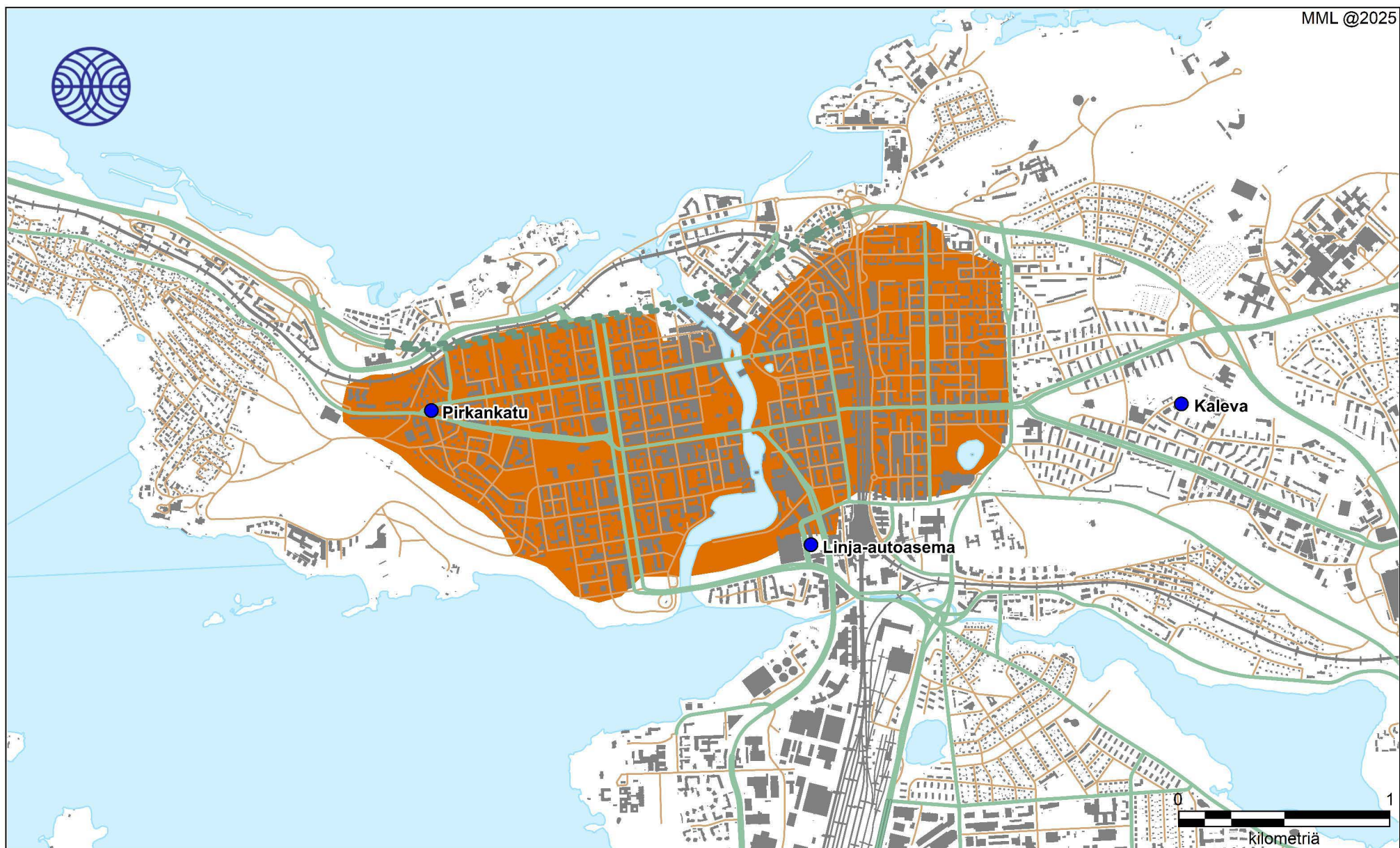
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 106. Kalevan ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue pienhiukkasten suhteen.



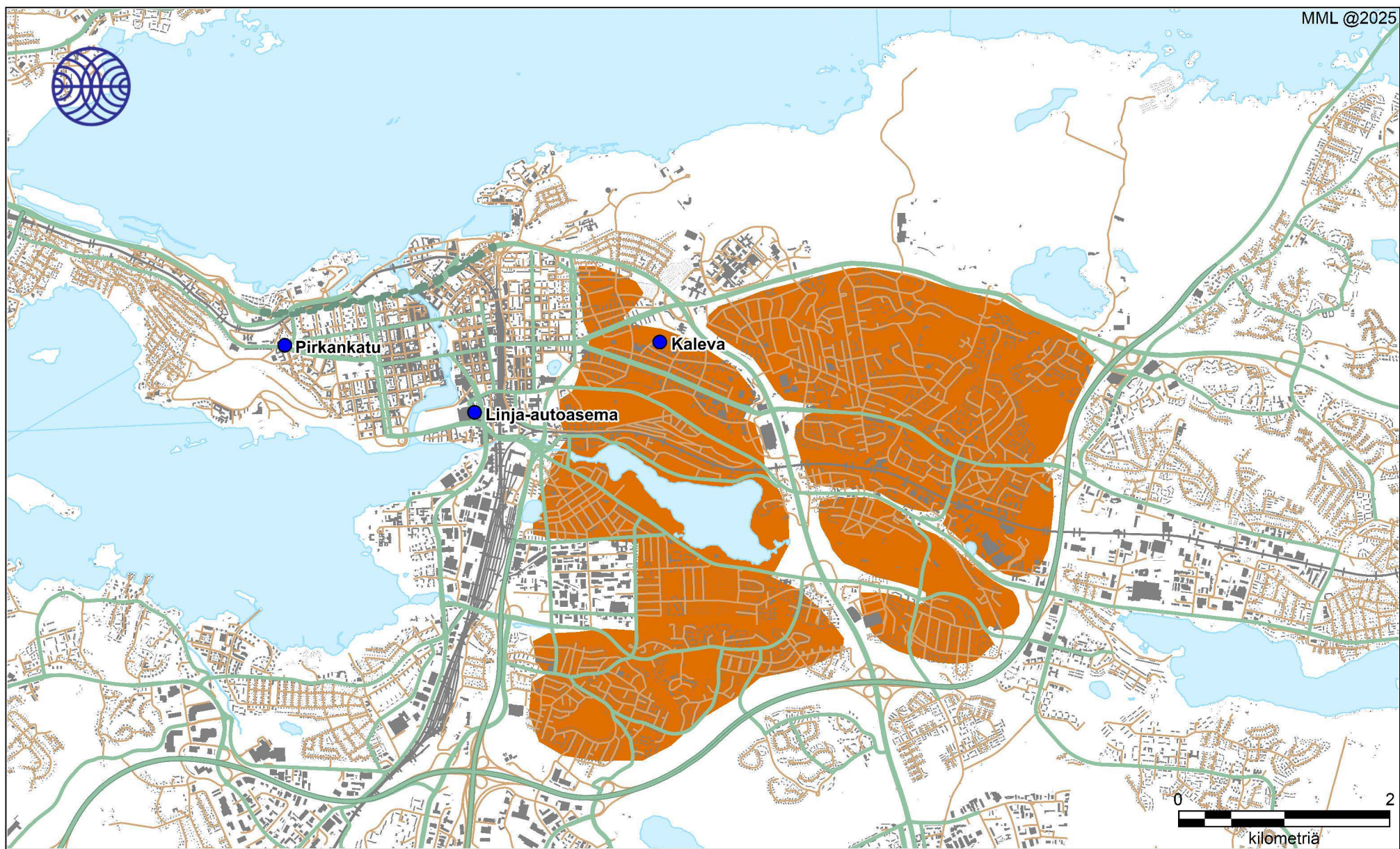
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 107. Epilän ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten suhteen.



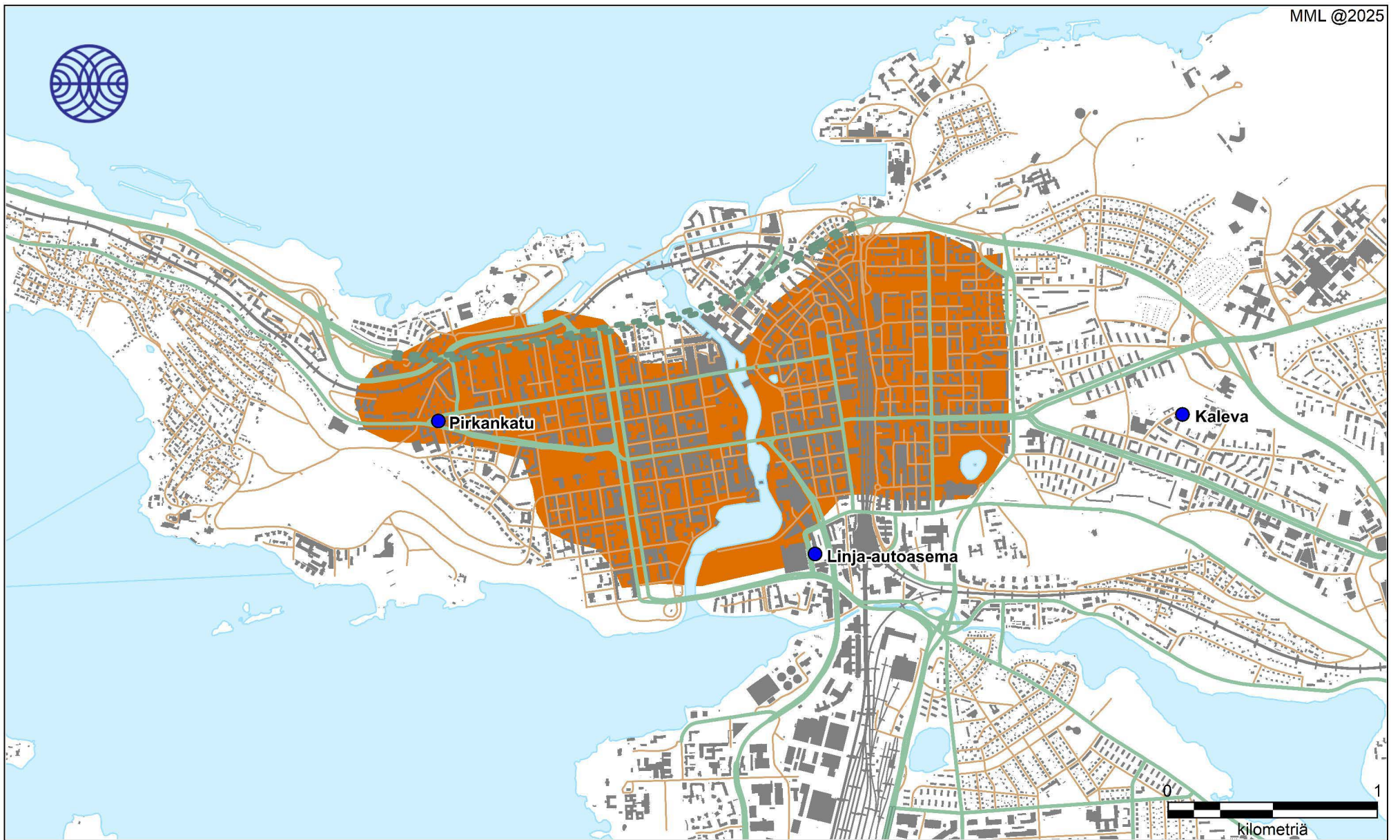
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 108. Pirkankadun ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten suhteen.



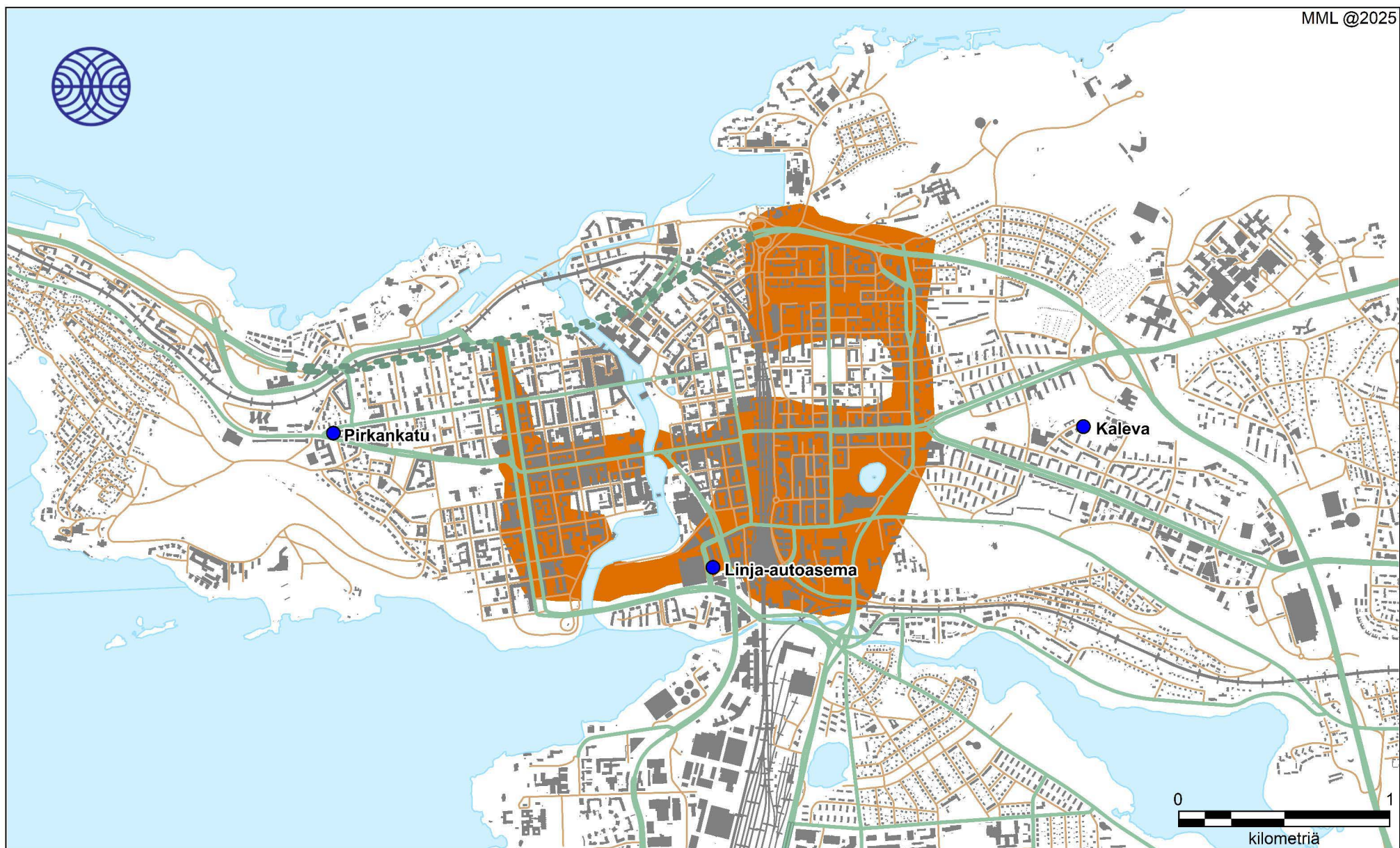
Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 109. Kalevan ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue hengitettävien hiukkasten suhteen.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 110. Pirkankadun ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin suhteen.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 111. Linja-autoaseman ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin suhteen.



Ilmatieteen laitos 2025

Kuva 112. Kalevan ilmanlaadun mittausaseman edustavuusalue typpidioksidin suhteen.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

